STEPHEN W. HAWKING s-a născut în 1942, exact în ziua când se împlineau trei sute de ani de la moartea lui Galileo Galilei. Este titularul catedrei de matematică Isaac Newton la Cambridge University şi mulţi îl consideră a fi unul dintre cei mai strălucitţi fizicieni teoreticieni de la Einstein încoace.

STEPHEN W. HAWKING

SCURTĂ ISTORIE A TIMPULUI
De la Big Bang la găurile negre
Ediţia a III-a
Traducere din engleză MICHAELA CIODARU

HUMANITAS
BUCUREŞTI

STEPHEN W. HAWKING
A BRIEF HISTORY OF TIME

From the Big Bang to Black Holes e 1988 by Stephen W. Hawking Introduction copyright e 1988 by Carl Sagan Interior illustration copyright e 1988 by Ron Miller e HUMANITAS, 2001, pentru prezenta versiune românească

Cuprins

Mulţumiri... 5
Introducere... 9
1. Imaginea noastră despre univers... 13

2. Spaţiul şi timpul... 28
3. Universul în expansiune... 52
4. Principiul de incertitudine... 72
5. Particulele elementare şi forţele naturii... 82
6. Găurile negre... 101
7. Găurile negre nu sunt aşa de negre... 120
8. Originea şi soarta universului... 136
9. Sensul timpului... 166

10. Unificarea fizicii... 178
11. Concluzii... 196
Albert Einstein... 201
Galileo Galilei... 203
Isaac Newton... 205

Mulţumiri

Am hotărât să încerc să scriu o carte de popularizare despre spaţiu şi timp după ce am ţinut cursurile Loeb la Harvard, în 1982. Exista deja un număr considerabil de cărţi privind începuturile universului şi găurile negre, variind de la foarte bune, cum ar fi cartea lui Steven Weinberg Primele trei minute, până la foarte proaste, pe care nu la voi numi. Totuşi, am simţit că niciuna dintre ele nu răspunde întrebărilor care m-au condus la efectuarea cercetărilor în cosmologie şi teoria cuantică: De unde vine universul? Cum şi când a început? Va ajunge la un sfârşit, şi dacă da, cum? Acestea sunt întrebări care ne interesează pe toţi. Ştiinţa modernă a devenit însă atât de tehnică încât numai un număr foarte mic de specialişti sunt capabili să stăpânească matematica utilizată pentru descrierea lor. Totuşi, ideile de bază privind originea şi soarta universului pot fi enunţate fără utilizarea matematicii, într-o formă pe care o pot înţelege oamenii care nu au educaţie ştiinţifică. Este ceea ce am încercat să fac în această carte. Cititorul trebuie să judece dacă am reuşit.

Cineva mi-a spus că fiecare ecuaţie pe care o includ în carte va înjumătăţi vânzările. Prin urmare, am hotărât să nu existe ecuaţii. Totuşi, în cele din urmă, am introdus o ecuaţie, faimoasa ecuaţie a lui Einstein, $E = mc^2$. Sper ca aceasta să nu sperie jumătate din cititorii mei potenţiali.

În afară de faptul că am fost destul de ghinionist să am ALS, sau boala neuro-motorie, am avut noroc în aproape toate celelalte privinţe. Ajutorul şi sprijinul pe care le-am primit de la soţia mea Jane şi de la copiii mei Robert, Lucy şi Timmy au făcut posibil să duc o viaţă cât se poate de normală şi să am o carieră reuşită. Am mai fost

norocos pentru că am ales fizica teoretică, deoarece aceasta este toată numai gândire. Astfel că invaliditatea mea nu a reprezentat un handicap serios. Colegii mei din domeniul ştiinţei mi-au fost, fără excepţie, de cel mai mare ajutor.

În prima fază „clasică" a carierei mele, asociaţii şi colaboratorii mei principali au fost Roger Penrose, Robert Geroch, Brandon Carter şi George Ellis. Le sunt recunoscător pentru ajutorul pe care mi l-au dat şi pentru lucrările pe care le-am realizat împreună. Această fază a fost rezumată în cartea The Large Scale Structure of Spacetime pe care Ellis şi cu mine am scris-o în 1973. Nu sfătuiesc cititorii prezentei cărţi să consulte acea lucrare pentru informaţii suplimentare: este foarte tehnică şi aproape de necitit. Sper că de atunci am învăţat cum să scriu într-un mod mai uşor de înţeles.

În a doua fază „cuantică" a activităţii mele, din 1974, colaboratorii mei principali au fost Gary Gibbons, Don Page şi Jim Hartle. Le datorez foarte mult lor şi studenţilor mei din cercetare, care mi-au fost de mare ajutor atât în sens concret, cât şi din punct de vedere moral. Faptul că a trebuit să ţin pasul cu studenţii mei a reprezentat un mare stimulent şi m-a împiedicat, sper, să mă înţepenesc în rutină.

Pentru această carte am avut un mare ajutor de la Brian Whitt, unul din studenţii mei. În 1985, după ce am schiţat primul proiect al cărţii, am făcut pneumonie. A trebuit să fac o operaţie de traheotomie datorită căreia nu am mai putut să vorbesc şi care m-a făcut să-mi fie aproape imposibil să comunic. Am crezut că nu voi putea să termin cartea. Totuşi, Brian nu numai că m-a ajutat să o revizuiesc, dar m-a făcut să utilizez un program de comunicare numit Living Center care mi-a fost donat de Walt Woltosz de la Words Plus Inc., din Sunnyvale, California. Cu acesta am putut să scriu cărţi şi lucrări şi să vorbesc cu oamenii utilizând un sintetizator de vorbire donat de Speech Plus, tot din Sunnyvale, California. Sintetizatorul şi un mic computer personal au fost montate

pe scaunul meu cu rotile de David Mason. Acest sistem a schimbat totul: de fapt, pot să comunic acum mai bine decât înainte de a-mi pierde vocea.

Am primit sugestii privind modul de îmbunătăţire a cărţii de la un mare număr de persoane care au văzut versiunile preliminare. În special Peter Guzzardi, editorul meu de la Bantam Books, mi-a trimis pagini întregi de comentarii şi întrebări despre punctele pe care credea că nu le-am explicat cum trebuie. Trebuie să admit că am fost destul de iritat când am primit lista lungă cu lucrurile care trebuiau modificate, dar a avut dreptate. Sunt sigur că această carte este mai bună ca urmare a faptului că m-a pus la treabă.

Sunt foarte recunoscător asistenţilor mei, Colin Williams, David Thomas şi Raymond Laflamme; secretarelor mele Judy Fella, Ann Ralph, Cheryl Billlington şi Sue Masey; şi echipei mele de asistente medicale. Nimic din acestea nu ar fi fost posibil fără suportul acordat pentru cheltuielile mele de cercetare şi medicale de Gonville and Caius Collège, Science and Engineering Research Council (Consiliul de Cercetare Ştiinţifică şi Tehnică) şi Fundaţiile Leverhulme, McArthur, Nuffield şi Ralph Smith. Le sunt foarte recunoscător.

STEPHEN HAWKING 20 octombrie 1987

Introducere

Ne vedem de viaţa noastră zilnică neînţelegând aproape nimic despre lume. Ne gândim prea puţin la mecanismul care generează lumina soarelui ce face posibilă viaţa, la gravitaţia ce ne ţine pe un Pământ care altfel ne-ar trimite învârtindu-ne în spaţiu, sau la atomii din care suntem făcuţi şi de a căror stabilitate depindem fundamental. Cu excepţia copiilor (care nu ştiu destul pentru a nu pune întrebări importante) puţini dintre noi îşi petrec mult timp întrebându-se de ce natura este aşa cum este: de unde vine cosmosul sau dacă a fost întotdeauna acolo; dacă într-o zi timpul va curge înapoi şi efectul va preceda cauza; sau dacă există limite ultime pentru ceea

ce poate cunoaşte omul. Există chiar copii, şi eu am întâlnit pe unii dintre ei, care vor să ştie cum arată o gaură neagră; care este cea mai mică parti-culă de materie; de ce ne amintim trecutul şi nu viitorul; cum se face, dacă la început a fost haos, că acum există, aparent, ordine; şi de ce există un univers.

În societatea noastră încă se mai obişnuieşte ca părinţii şi profesorii să răspundă la majoritatea acestor întrebări cu o ridicare din umeri, sau făcând apel la precepte religioase amintite vag. Unii sunt incomodaţi de asemenea subiecte, deoarece ele expun atât de viu limitele înţelegerii umane.

Dar multe din rezultatele filosofiei şi ştiinţei au fost obţinute datorită unor astfel de întrebări. Un număr din ce în ce mai mare de adulţi doresc să pună întrebări de acest fel şi uneori obţin nişte răspunsuri surprinzătoare. La distanţă egală faţă de atomi şi stele, noi ne extindem orizonturile de cercetare pentru a le cuprinde pe amândouă: infinitul mic şi infinitul mare.

În primăvara lui 1974, cu circa doi ani înainte ca nava spaţială Viking să coboare pe Marte, am fost în Anglia, la o întrunire sponsorizată de Societatea Regală din Londra, privind problema modalităţilor de căutare a vieţii extraterestre. Într-o pauză am observat că o întrunire mult mai mare avea loc într-o sală alăturată, în care am intrat din curiozitate. Curând mi-am dat seama că asistam la un vechi ritual: investitura de noi membri ai Societăţii Regale, una dintre cele mai vechi organizaţii ştiinţifice ale planetei. În rândul întâi, un tânăr într-un scaun cu rotile îşi semna, foarte încet, numele într-o carte care purta pe primele pagini semnătura lui Isaac Newton. Când în sfârşit a terminat, au izbucnit ovaţii emoţionante. Încă de atunci Stephen Hawking era o legendă.

Hawking este acum profesor de matematică la Universitatea Cambridge, un post deţinut odată de Newton şi apoi de P.A.M. Dirac, doi cercetători celebri ai infinitului mare şi infinitului mic. El este vrednicul lor succesor. Această primă carte pentru nespecialişti a lui Hawking

cuprinde recompense de multe feluri pentru cititorul nespecializat. Tot aşa de interesantă ca şi conţinutul variat al cărţii este imaginea pe care o dă asupra funcţionării gândirii autorului. În această carte există revelaţii lucide asupra frontierelor fizicii, astronomiei, cosmologiei şi curajului.

Aceasta este, de asemenea, o carte despre Dumnezeu... sau, poate, despre absenţa lui Dumnezeu. Cuvântul Dumnezeu umple aceste pagini. Hawking porneşte în căutarea răspunsului la faimoasa întrebare a lui Einstein dacă Dumnezeu a avut de ales în crearea universului. Hawking încearcă, aşa cum afirmă explicit, să înţeleagă gândirea lui Dumnezeu. Şi aceasta face cu atât mai neaşteptat rezultatul efortului, cel puţin până acum: un univers fără margini în spaţiu, fără început sau sfârşit în timp, şi nimic de făcut pentru Creator.

CARL SAGAN Universitatea Cornell Ithaca, New York

Scurtă istorie a timpului

Stephen Hawking

1. Imaginea noastră despre univers

Un savant bine cunoscut (unii spun că a fost Bertrand Russell) a ţinut odată o conferinţă publică de astronomie. El a arătat cum pământul se învârteşte în jurul soarelui şi cum soarele, la rândul său, se învârteşte în jurul centrului unei colecţii vaste de stele numită galaxia noastră. La sfârşitul conferinţei sale, o bătrânică din fundul sălii s-a ridicat şi a spus: „Ceea ce ne-aţi spus sunt prostii. În realitate, lumea este un disc aşezat pe spatele unei broaşte ţestoase gigantice”. Savantul a avut un zâmbet de superioritate înainte de a replica: „Şi pe ce stă broasca ţestoasă?” „Eşti foarte deştept, tinere, foarte deştept”, a spus bătrâna doamnă. „Dar sunt broaşte ţestoase până jos”.

Majoritatea oamenilor ar găsi ridicolă imaginea

universului nostru ca un turn infinit de broaşte ţestoase, dar de ce credem că noi ştim mai bine? Ce ştim despre univers, şi cum o ştim? De unde vine universul şi încotro merge? Are universul un început şi dacă da, ce s-a întâmplat înainte de acesta? Care este natura timpului? Va ajunge el la un sfârşit? Progrese recente ale fizicii, posibile în parte datorită unor tehnologii fantastice, sugerează răspunsuri la unele dintre aceste întrebări vechi. Poate că într-o zi aceste răspunsuri vor părea tot atât de evidente ca şi mişcarea pământului în jurul soarelui sau poate tot aşa de ridicole ca un turn de broaşte ţestoase. Numai timpul (oricare ar fi acesta) ne va spune.

Încă din anul 340 î.Hr., filosoful grec Aristotel, în cartea sa „Despre ceruri", a putut să ofere două argumente în sprijinul credinţei că pământul este o sferă rotundă şi nu un disc. În primul rând, el şi-a dat seama că eclipsele de lună erau produse de pământ, care se afla între soare şi lună. Umbra pământului pe lună era întotdeauna rotundă, ceea ce ar fi adevărat numai dacă pământul ar fi sferic. Dacă pământul ar fi fost un disc plat, umbra ar fi fost alungită şi eliptică, în afară de cazul în care eclipsa s-ar fi produs întotdeauna în momentul în care soarele era chiar sub centrul discului. În al doilea rând, grecii ştiau din călătoriile lor că Steaua Polară apare mai jos pe cer când se vede din sud decât când se vede din regiunile mai nordice. (Deoarece Steaua Polară se găseşte deasupra Polului Nord, ea îi apare unui observator aflat la Polul Nord chiar deasupra, dar pentru cineva care priveşte de la ecuator ea pare să se afle chiar la orizont.) Aristotel a efectuat chiar, din diferenţa dintre poziţiile aparente ale Stelei Polare în Egipt şi în Grecia, o evaluare a distanţei din jurul pământului, de 400.000 stadii. Nu se ştie exact care era lungimea unei stadii, dar probabil a avut circa 200 iarzi, ceea ce face ca estimarea lui Aristotel să fie de două ori mai mare decât cifra acceptată în mod curent. Grecii aveau chiar şi un al treilea argument că pământul este rotund, pentru că altfel de ce se văd mai întâi pânzele unei corăbii deasupra orizontului şi numai după aceea se

vede copastia?

Aristotel credea că pământul era fix, iar soarele, luna, planetele şi stelele se deplasează pe orbite circulare în jurul lui. El credea astfel deoarece simţea, din motive mistice, că pământul era centrul universului şi că mişcarea circulară era perfectă. Această idee a fost elaborată de Ptolemeu în secolul al doilea p. Chr. Într-un model cosmologic complex. Pământul stătea în centru, înconjurat de opt sfere care purtau luna, soarele, stelele şi cele cinci planete cunoscute în acel moment: Mercur, Venus, Marte, Jupiter şi Saturn (fig. 1.1).

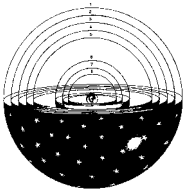


FIGURA 1.1

1. Sfera stelelor fixe 2. Sfera lui Saturn 3. Sfera lui Jupiter
4. Sfera lui Marte 5. Sfera Soarelui 6. Sfera lui Venus
7. Sfera lui Mercur 8. Sfera Lunii

La rândul lor planetele se mişcau pe cercuri mai mici ataşate unor sfere, pentru a explica traiectoriile lor mai complicate pe cer. Sfera exterioară purta aşa-numitele stele fixe, care stau întotdeauna în aceleaşi poziţii unele faţă de celelalte, dar care se rotesc împreună pe cer. Ceea ce se găsea dincolo de ultima sferă nu a fost niciodată foarte clar, dar în mod sigur nu făcea parte din universul observabil al umanităţii. Modelul lui Ptolemeu dădea un sistem destul de precis pentru precizarea poziţiilor corpurilor cereşti pe cer. Dar, pentru a prezice corect aceste poziţii, Ptolemeu a trebuit să facă ipoteza că luna urma o traiectorie care o aducea în unele cazuri la o distanţă de două ori mai aproape de pământ decât în altele. Şi aceasta însemna că luna trebuia să fie în unele cazuri de două ori mai mare decât în altele. Ptolemeu a recunoscut acest punct slab dar, cu toate acestea, modelul era acceptat în general, deşi nu universal. El a fost recunoscut de Biserica creştină ca o imagine a universului care era în conformitate cu Scriptura, deoarece avea marele avantaj că lăsa, în afara sferei cu stelele fixe, o

mulţime de spaţiu pentru rai şi iad.

Totuşi, în 1514 un preot polonez, Nicholas Copernic, a propus un model mai simplu. (La început, poate de frică să nu fie stigmatizat ca eretic de biserica sa, Copernic a pus anonim în circulaţie modelul său.) Ideea sa era că soarele era staţionar în centru şi planetele se mişcă pe orbite circulare în jurul soarelui. A trecut aproape un secol înainte ca această idee să fie luată în serios. Atunci, doi astronomi germanul Johannes Kepler şi italianul Galileo Galilei au început să sprijine public teoria lui Copernic, în ciuda faptului că orbitele pe care le-a prezis nu se potriveau exact cu cele observate. Lovitura de graţie i s-a dat teoriei aristoteliano-ptolemaice în 1609. În acel an, Galilei a început să observe cerul nopţii cu un telescop, care tocmai fusese inventat. Când a privit la planeta Jupiter, Galilei a observat că ea era însoţită de câţiva sateliţi mici, sau luni, care se roteau în jurul ei. Aceasta însemna că nu orice corp trebuia să se învârtă în jurul pământului, aşa cum credeau Aristotel şi Ptolemeu. (Desigur, era încă posibil să se creadă că pământul era fix în centrul universului şi că lunile lui Jupiter se mişcau pe traiectorii extrem de complicate în jurul pământului, dând aparenţa că ele se rotesc în jurul lui Jupiter. Totuşi, teoria lui Copernic era mult mai simplă.) În acelaşi timp, Johannes Kepler a modificat teoria lui Copernic, sugerând că planetele nu se mişcă pe orbite circulare ci eliptice (o elipsă este un cerc alungit). Acum prezicerile se potriveau în sfârşit cu observaţiile.

În ceea ce-l priveşte pe Kepler, orbitele eliptice erau doar o ipoteză ad hoc, şi încă una respingătoare, deoarece elipsele erau mai puţin perfecte decât cercurile. Descoperind aproape accidental că orbitele eliptice se potrivesc bine observaţiilor, el nu a putut să le împace cu ideea sa că planetele erau determinate de forţe magnetice să se mişte în jurul soarelui. O explicaţie a fost dată abia mult mai târziu, în 1687, când Sir Isaac Newton a publicat cartea sa *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, probabil cea mai importantă lucrare care a fost publicată

vreodată în ştiinţe fizice. În aceasta nu numai că Newton a prezentat o teorie privind modul în care se mişcă corpurile în spaţiu fi timp, dar a dezvoltat şi aparatul matematic complicat, necesar pentru analiza acelor mişcări. În plus, Newton a postulat o lege a gravitaţiei universale conform căreia fiecare corp din univers era atras spre oricare alt corp cu o forţă care era cu atât mai mare cu cât corpurile erau mai masive şi cu cât erau mai aproape unele de altele. Era aceeaşi forţă care producea căderea obiectelor spre pământ. (Povestea că Newton a fost inspirat de un măr care l-a lovit în cap este aproape sigur apocrifă. Tot ceea ce Newton însuşi a spus vreodată a fost că ideea gravitaţiei i-a venit atunci când se afla „într-o stare contemplativă" şi „a fost ocazionată de căderea unui măr".) Conform acestei legi, Newton a arătat că forţa gravitaţională determină luna să se mişte pe o orbită eliptică în jurul pământului, iar pământul şi planetele să urmeze traiectorii eliptice în jurul soarelui.

Modelul lui Copernic a renunţat la sferele celeste ale lui Ptolemeu şi, odată cu ele, la ideea că universul are limite naturale. Deoarece „stelele fixe" nu par să-şi modifice poziţiile în afară de o rotaţie pe cer cauzată de rotaţia pământului în jurul axei sale, a părut natural să se presupună că stelele fixe erau obiecte ca şi soarele nostru, dar la distanţe foarte mari.

Newton a înţeles că, în conformitate cu teoria sa privind gravitaţia, stelele trebuie să se atragă unele pe altele, astfel încât părea că ele nu pot rămâne nemişcate. Nu ar trebui să cadă toate într-un punct? Într-o scrisoare din 1691 către Richard Bentley, un alt gânditor de primă mărime din vremea sa, Newton argumenta că aceasta s-ar întâmpla într-adevăr dacă ar exista numai un număr finit de stele distribuite pe o regiune finită a spaţiului. Dar el a gândit că dacă, pe de altă parte, ar exista un număr infinit de stele, distribuite mai mult sau mai puţin uniform în spaţiul infinit, acest lucru nu s-ar întâmpla, deoarece nu ar exista un punct central către care acestea să cadă.

Acest argument este o ilustrare a capcanelor pe care

le puteţi întâlni când vorbiţi despre infinit. Într-un univers infinit, fiecare punct poate fi privit ca un centru, deoarece fiecare punct are un număr infinit de stele de fiecare parte a sa. Abordarea corectă, care s-a realizat mult mai târziu, este de a considera situaţia finită în care stelele cad fiecare una pe alta, şi apoi de a întreba cum se modifică lucrurile dacă se adaugă mai multe stele distribuite aproape uniform în afara acestei regiuni. Conform legii lui Newton, stelele în plus nu vor produce, în medie, modificări celor iniţiale, astfel că stelele vor cădea tot atât de repede. Putem adăuga cât de multe stele dorim, dar ele se vor prăbuşi întotdeauna pe ele însele. ştim acum că este imposibil să avem un model static infinit al universului în care gravitaţia este întotdeauna forţă de atracţie.

O reflecţie interesantă asupra climatului general al gândirii dinaintea secolului al douăzecilea este că nimeni nu a sugerat că universul era în expansiune sau în contracţie. Era general acceptat că universul a existat dintotdeauna într-o stare nemodificată sau că el a fost creat la un anumit moment de timp în trecut, mai mult sau mai puţin aşa cum îl observăm astăzi. Aceasta s-a putut datora în parte tendinţei oamenilor de a crede în adevăruri eterne, ca şi mângâierii pe care au găsit-o la gândul că ei pot îmbătrâni şi muri, dar universul este etern şi nemodificat.

Chiar aceia care au înţeles că teoria gravitaţiei a lui Newton arăta că universul nu poate fi static nu s-au gândit să sugereze că el poate fi în expansiune. În loc de aceasta, ei au încercat să modifice teoria considerând că forţa gravitaţională este de respingere la distanţe foarte mari. Aceasta nu afecta semnificativ prezicerile lor asupra mişcării planetelor, dar permitea rămânerea în echilibru a unei distribuţii infinite a stelelor forţele de atracţie dintre stelele apropiate fiind echilibrate de forţele de respingere de la acelea care erau depărtate. Totuşi, acum credem că un astfel de echilibru ar fi instabil: dacă stelele dintr-o regiune ajung doar puţin mai aproape unele de altele, forţele de atracţie dintre ele ar deveni mai puternice şi ar

domina forţele de respingere astfel încât stelele ar continua să cadă una spre cealaltă. Pe de altă parte, dacă stelele ajung doar puţin mai departe una de alta, forţele de respingere ar domina şi le-ar îndepărta unele de altele.

O altă obiecţie împotriva unui univers static infinit este atribuită în mod normal filosofului german Heinrich Olbers, care a scris despre această teorie în 1823. De fapt, diferiţi contemporani ai lui Newton au ridicat problema, şi articolul lui Olbers nu a fost nici măcar primul care să conţină argumente plauzibile împotriva sa. El a fost, totuşi, larg remarcat. Dificultatea este că, într-un univers static infinit, aproape fiecare linie de vedere s-ar termina pe suprafaţa unei stele. Astfel, ar fi de aşteptat ca întregul cer să fie tot aşa de strălucitor ca soarele, chiar şi noaptea. Contraargumentul lui Olbers era că lumina stelelor îndepărtate s-ar diminua prin absorbţie W materia interstelară. Totuşi, dacă aceasta s-ar întâmpla, materia interstelară s-ar încălzi în cele din urmă până când ar străluci tot atât cât stelele. Singura cale de a evita concluzia că tot cerul nopţii trebuie să fie la fel de strălucitor ca şi suprafaţa soarelui ar fi să se presupună că stelele nu au strălucit întotdeauna, ci au început să strălucească la un moment finit în trecut. În acest caz, materia absorbantă poate nu s-a încălzit încă sau lumina de la stelele îndepărtate poate să nu ne fi ajuns încă. şi aceasta ne pune problema cauzei care ar fi putut determina stelele să înceapă să strălucească prima oară.

Începutul universului a fost discutat, desigur, cu mult înainte de aceasta. Conform unui număr de cosmologii timpurii şi tradiţiei evreieşti, creştine, musulmane, universul a început la un moment finit şi nu foarte îndepărtat din trecut. Un argument pentru un astfel de început a fost sentimentul că era necesar să existe o „Primă Cauză” pentru a explica existenţa universului. (În univers, întotdeauna se explică un eveniment ca fiind cauzat de un eveniment anterior, dar existenţa universului însuşi putea fi explicată în acest fel numai dacă el avea un început.) Un alt argument a fost prezentat de Sf. Augustin

în cartea *de Civitate Dei*. El a arătat că civilizaţia progresează şi noi ne amintim cine a realizat această faptă sau a dezvoltat acea tehnică. Astfel omul, şi poate şi universul, poate nu au existat de la început. Sf. Augustin a acceptat, conform *Cărţii Genezei*, data de circa 5.000 î.Hr. pentru crearea universului. (Este interesant că aceasta nu este prea departe de sfârşitul ultimei ere glaciare, la circa 10.000 a. Chr, care este momentul în care arheologii ne spun că a început în realitate civilizaţia.)

Pe de altă parte, Aristotel şi majoritatea celorlalţi filosofi greci nu agreau ideea unei creaţii deoarece aducea prea mult cu o intervenţie divină. Prin urmare, ei credeau că rasa umană şi lumea înconjurătoare au existat şi vor exista întotdeauna. Anticii analizaseră deja argumentul despre progres descris mai sus şi au răspuns spunând că au existat inundaţii sau alte dezastre periodice care au trimis repetat rasa umană înapoi la începutul civilizaţiei.

Întrebările dacă universul avea un început în timp şi dacă este limitat în spaţiu au fost apoi extensiv examinate de filosoful Immanuel Kant în lucrarea sa monumentală (şi foarte obscură) *Critica Raţiunii Pure*, publicată în 1781. El a numit aceste întrebări antinomii (adică, contradicţii) ale raţiunii pure deoarece el simţea că existau argumente egale pentru a crede teza, că universul are un început, şi antiteza, că el a existat dintotdeauna. Argumentul său în favoarea tezei era că dacă universul nu a avut un început, ar fi existat o perioadă infinită de timp înaintea oricărui eveniment, ceea ce el considera că era absurd. Argumentul pentru antiteză era că dacă universul avea un început, ar fi existat o perioadă infinită de timp înainte de acesta, astfel încât de ce ar începe universul la un anumit moment? De fapt, cazurile sale pentru teză şi antiteză reprezintă în realitate acelaşi argument. Ambele se bazează pe ipoteza sa, neexprimată, că timpul există dintotdeauna, indiferent dacă universul a existat sau nu dintotdeauna. Aşa cum vom vedea, conceptul de timp nu are sens înainte de începutul universului. Acest lucru a fost arătat prima oară de Sf. Augustin. Când a fost întrebat: Ce-a făcut Dumnezeu

înainte de a crea universul? Augustin nu a replicat: El pregătea iadul pentru oamenii care pun astfel de întrebări. În schimb, el a spus că timpul era o proprietate a universului pe care l-a creat Dumnezeu şi că timpul nu a existat înainte de începutul universului.

Când majoritatea oamenilor credeau într-un univers esenţial static şi nemodificabil, întrebarea dacă el are sau nu un început era în realitate o problemă de metafizică sau teologie. Ceea ce se observa se putea explica tot aşa de bine pe baza teoriei că universul a existat dintotdeauna sau pe baza teoriei că el a fost pus în mişcare la un moment finit astfel încât să arate ca şi când ar exista dintotdeauna. Dar în 1929, Edwin Hubble a făcut observaţia crucială că oriunde priveşti, galaxiile aflate la distanţă mai mare se îndepărtează rapid de noi. Cu alte cuvinte, universul este în expansiune. Aceasta înseamnă că, la început, obiectele ar fi fost strânse la un loc. De fapt, se pare că a fost un moment, cu circa zece sau douăzeci de mii de milioane de ani înainte, când ele se găseau exact în acelaşi loc şi când, deci, densitatea universului era infinită. Această descoperire a adus în final problema începutului universului în domeniul ştiinţei.

Observaţiile lui Hubble sugerau că a existat un moment numit Big Bang[1], când universul era infinit de mic şi infinit de dens. În aceste condiţii, toate legile ştiinţei şi, prin urmare, toată capacitatea de a preciza viitorul, nu funcţionau. Dacă au existat evenimente înaintea acestui moment, atunci ele nu puteau afecta ceea ce se întâmplă în prezent. Existenţa lor poate fi ignorată deoarece nu ar avea consecinţe observabile. Se poate spune că timpul a avut un început la Big Bang, în sensul că timpul dinainte pur şi simplu nu ar putea fi definit. Trebuie accentuat că acest început al timpului este foarte diferit de acelea care au fost considerate anterior. Într-un univers care nu se modifică, începutul timpului este ceva care trebuie să fie impus de o fiinţă din afara universului; nu există necesitate fizică pentru un început. Se poate imagina că Dumnezeu a

1 Marea Explozie

creat universul pur şi simplu în orice moment din trecut. Pe de altă parte, dacă universul este în expansiune, pot exista motive fizice pentru care a trebuit să fie un început. Se mai poate imagina că Dumnezeu a creat universul în momentul Big Bang-ului sau chiar după aceea, în aşa fel încât să arate ca şi când ar fi existat Big Bang, dar ar fi fără sens să se presupună că el a fost creat înainte de Big Bang. Un univers în expansiune nu exclude posibilitatea unui creator, dar introduce limitări asupra momentului când el ar fi putut să facă aceasta!

Pentru a vorbi despre natura universului şi a discuta probleme cum este cea a existenţei unui început sau a unui sfârşit trebuie să vă fie clar ce este o teorie ştiinţifică. Voi lua în considerare părerea simplă că o teorie este doar un model al universului, sau o parte restrânsă a sa, şi un set de reguli care leagă mărimile din model de observaţiile pe care le facem. Ea există doar în minţile noastre şi nu are altă realitate (oricare ar putea fi). O teorie este bună dacă satisface două cerinţe: ea trebuie să descrie precis o clasă largă de observaţii pe baza unui model care conţine numai câteva elemente arbitrare, şi trebuie să facă predicţii definite asupra rezultatelor observaţiilor viitoare. De exemplu, teoria lui Aristotel că orice lucru era făcut din patru elemente pământul, aerul, focul şi apa era destul de simplă ca descriere, dar nu făcea predicţii definite. Pe de altă parte, teoria gravitaţională a lui Newton se baza pe un model şi mai simplu, în care corpurile se atrăgeau unele pe altele cu o forţă care era proporţională cu o mărime numită masa lor şi invers proporţională cu pătratul distanţei dintre ele. Totuşi, ea prezice cu un grad înalt de precizie mişcările soarelui, lunii şi planetelor.

Orice teorie fizică este întotdeauna temporară, în sensul că este doar o ipoteză: niciodată nu poţi s-o dovedeşti. Indiferent de cât de multe ori rezultatele experimentelor concordă cu o teorie, niciodată nu poţi fi sigur că data viitoare rezultatul nu va contrazice teoria. Pe de altă parte, poţi să infirmi o teorie găsind doar o singură observaţie care nu corespunde prezicerilor sale. Aşa cum a

subliniat filosoful ştiinţei Karl Popper, o teorie bună se caracterizează prin faptul că face un număr de predicţii care pot fi, în principiu, contrazise sau falsificate de observaţie. De fiecare dată când se observă că noile experimente corespund prezicerilor, teoria supravieţuieşte, iar încrederea noastră în ea creşte; dar dacă se găseşte vreodată o nouă observaţie care nu corespunde, trebuie să abandonăm sau să modificăm teoria. Cel puţin aşa se presupune că se întâmplă, dar întotdeauna poţi să pui la îndoială competenţa persoanei care a făcut observaţia.

În practică, adeseori se întâmplă că o nouă teorie apărută este în realitate o extindere a teoriei anterioare. De exemplu, observaţii foarte precise ale planetei Mercur au pus în evidenţă o mică diferenţă între mişcarea sa şi prezicerile teoriei gravitaţionale a lui Newton. Teoria generală a relativităţii a lui Einstein a prezis o mişcare uşor diferită de cea obţinută cu teoria lui Newton. Faptul că predicţiile lui Einstein s-au potrivit cu ceea ce a fost văzut, în timp ce predicţiile lui Newton nu s-au potrivit, a reprezentat una din confirmările cruciale ale noii teorii. Totuşi, noi utilizăm încă teoria lui Newton pentru toate scopurile practice deoarece diferenţa dintre predicţiile sale şi acelea ale relativităţii generalizate este foarte mică în situaţiile în care avem de-a face cu ea în mod normal. (De asemenea, teoria lui Newton are marele avantaj că este mult mai simplu să lucrezi cu ea decât cea a lui Einstein.)

Scopul final al ştiinţei este de a da o singură teorie care descrie întregul univers. Totuşi, în realitate, abordarea urmată de majoritatea oamenilor de ştiinţă este de a divide problema în două părţi. În prima parte, există legi care ne spun cum se modifică universul în timp. (Dacă ştim cum este universul la un moment dat, aceste legi fizice ne spun cum va arăta în orice moment ulterior.) În cea de a doua parte, există problema stării iniţiale a universului. Unii oameni cred că ştiinţa trebuie să se concentreze numai asupra primei părţi; ei privesc problema stării iniţiale ca pe o chestiune de metafizică sau

de religie. Ei ar spune că Dumnezeu, fiind atotputernic, a putut pune în mişcare universul în orice fel ar fi dorit. Ar putea fi aşa, dar în acest caz el ar fi putut, de asemenea, să-l facă să evolueze într-un mod complet arbitrar. Totuşi, se pare că el a ales să-l facă să evolueze într-un mod foarte regulat, conform anumitor legi. Prin urmare, pare tot aşa de rezonabil să se presupună că există şi legi care guvernează starea iniţială.

Reiese că este foarte dificil să se elaboreze o teorie care să descrie complet universul. În schimb, am divizat problema în bucăţi şi am inventat mai multe teorii parţiale. Fiecare dintre aceste teorii parţiale descrie şi prezice o anumită clasă limitată de observaţii, neglijând efectele celorlalte mărimi, sau reprezentându-le prin seturi simple de numere. Poate că această abordare este complet greşită. Dacă orice lucru din univers depinde de oricare alt lucru în mod fundamental, poate fi imposibil să se ajungă la o soluţie completă prin cercetarea părţilor separate ale problemei. Totuşi, aceasta este în mod sigur calea pe care am făcut progrese în trecut. Din nou, exemplul clasic este teoria newtoniană a gravitaţiei, care ne spune că forţa gravitaţională dintre două corpuri depinde numai de un număr asociat fiecărui corp, masa sa, dar altfel este independent de materialul din care este făcut corpul. Astfel, nu trebuie să existe o teorie privind structura şi constituţia soarelui şi planetelor pentru a calcula orbitele lor.

Oamenii de ştiinţă de astăzi descriu universul cu ajutorul a două teorii parţiale de bază teoria generală a relativităţii şi mecanica cuantică. Ele reprezintă marile realizări intelectuale ale primei jumătăţi a acestui secol. Teoria generală a relativităţii descrie forţa de gravitaţie şi structura la scară mare a universului, adică structura pe scară de la numai câţiva kilometri la milioane de milioane de milioane de milioane (unu cu douăzeci şi patru de zerouri după el) de kilometri, dimensiunea universului observabil. Pe de altă parte, mecanica cuantică tratează fenomene la scară extrem de mică, cum ar fi o milionime

dintr-o milionime de centimetru. Totuşi, din nefericire, se ştie că aceste teorii nu sunt compatibile una cu alta ele nu pot fi ambele corecte. Unul dintre eforturile majore ale fizicii de astăzi, şi tema majoră a acestei cărţi, este căutarea unei noi teorii care să le încorporeze pe amândouă o teorie cuantică a gravitaţiei. Nu avem încă o teorie de acest fel şi poate dura mult până să avem una, dar cunoaştem deja multe din proprietăţile pe care trebuie să le aibă. Şi vom vedea, în capitolele următoare, că ştim deja destule despre prezicerile pe care trebuie să le facă o teorie cuantică a gravitaţiei.

Acum, dacă credeţi că universul nu este arbitrar, ci este guvernat de legi definite, trebuie să combinaţi teoriile parţiale într-o teorie unificată completă care va descrie totul în univers. Dar, în căutarea unei astfel de teorii unificate complete, există un paradox fundamental. Ideile privind teoriile ştiinţifice schiţate mai sus presupun că suntem fiinţe raţionale, libere să observăm universul aşa cum dorim şi să tragem concluzii logice din ceea ce vedem. Într-o schemă de acest fel este rezonabil să presupunem că putem progresa şi mai mult spre legile care guvernează universul nostru. Totuşi, dacă există în realitate o teorie unificată completă, ea ar determina probabil şi acţiunile noastre. Şi astfel teoria însăşi ar determina rezultatul cercetării noastre asupra ei. Şi de ce trebuie să ne determine ca din dovezi să tragem concluziile juste? Nu poate tot aşa de bine să ne determine să tragem concluzii greşite? Sau nicio concluzie?

Singurul răspuns pe care îl pot da acestei probleme se bazează pe principiul selecţiei naturale al lui Darwin. Ideea este că în orice populaţie de organisme autoreproducătoare vor exista variaţii ale materialului genetic şi educaţiei pe care le au diferiţi indivizi. Aceste diferenţe vor însemna că unii indivizi sunt mai capabili decât alţii să tragă concluziile juste privind lumea din jurul lor şi să acţioneze corespunzător. Va exista o probabilitate mai mare ca aceşti indivizi să supravieţuiască şi să se reproducă şi astfel tipul lor de comportare şi de gândire va

deveni dominant. În trecut a fost în mod sigur adevărat că ceea ce noi numim inteligenţă şi descoperire ştiinţifică a reprezentat un avantaj pentru supravieţuire. Totuşi, dacă universul a evoluat în mod regulat, ne putem aştepta ca aptitudinile de gândire pe care ni le-a dat selecţia naturală să fie valabile şi în căutarea unei teorii unificate complete şi astfel să nu ne conducă la concluzii greşite.

Deoarece teoriile parţiale pe care le avem sunt suficiente pentru a face preziceri corecte pentru toate situaţiile în afara celor extreme, căutarea unei teorii finale a universului pare dificil să se justifice din punct de vedere practic. (Totuşi, aceasta nu valorează nimic, deoarece argumente similare au putut fi utilizate împotriva teoriei relativităţii şi mecanicii cuantice, iar aceste teorii ne-au dat atât energia nucleară cât şi revoluţia microelectronicii!) Prin urmare, descoperirea unei teorii unificate complete poate să nu ajute la supravieţuirea speciei noastre. Poate chiar să nu ne afecteze stilul de viaţă. Dar, chiar de la începuturile civilizaţiei, oamenii nu erau mulţumiţi să vadă evenimentele fără legătură şi inexplicabile. Ei au dorit cu ardoare înţelegerea ordinii fundamentale a lumii. Astăzi noi gândim încă să ştim de ce suntem aici şi de unde venim. Dorinţa cea mai profundă a umanităţii de a cunoaşte reprezintă o justificare suficientă a căutării noastre continue. şi scopul nostru este nu mai puţin decât o descriere completă a universului în care trăim.

2. Spaţiul şi timpul

Ideile actuale asupra mişcării corpurilor datează de la Galilei şi Newton. Înaintea lor oamenii îl credeau pe Aristotel, care spunea că starea naturală a unui corp era în repaus şi că el se mişcă numai acţionat de o forţă sau de un impuls. Rezultă că un corp greu trebuie să cadă mai repede decât unul uşor, deoarece ar fi fost atras mai mult spre pământ.

Tradiţia aristoteliană consideră, de asemenea, că

toate legile care guvernează universul pot fi elaborate doar prin gândire pură: nu era necesar să se verifice prin observaţie. Astfel, nimeni până la Galilei nu s-a deranjat să vadă dacă într-adevăr corpurile cu greutăţi diferite cad cu viteze diferite. Se spune că Galilei a demonstrat că părerea lui Aristotel era falsă, lăsând să cadă greutăţi din turnul înclinat din Pisa. Povestea este aproape sigur neadevărată, dar Galilei a făcut ceva echivalent: el a lăsat să se rostogolească bile cu greutăţi diferite pe o pantă netedă. Situaţia este similară aceleia a unor corpuri grele care cad vertical, dar este mai uşor de observat deoarece vitezele sunt mai mici. Măsurările lui Galilei au arătat că fiecare corp şi-a mărit viteza cu aceeaşi valoare, indiferent de greutatea sa. De exemplu, dacă lăsaţi să meargă o bilă pe o pantă care coboară cu un metru la fiecare 10 metri lungime, bila se va deplasa în josul pantei cu o viteză de circa un metru pe secundă după o secundă, de doi metri pe secundă după două secunde ş.a.m.d., indiferent cât de grea este bila. Desigur, o greutate de plumb ar cădea mai repede decât o pană, dar aceasta numai pentru că o pană este încetinită de rezistenţa aerului. Dacă se lasă să cadă două corpuri care nu întâmpină o rezistenţă mare a aerului, cum ar fi două greutăţi diferite de plumb, ele cad la fel.

Măsurările lui Galilei au fost utilizate de Newton ca bază pentru legile mişcării. În experimentele lui Galilei, atunci când un corp se rostogolea pe pantă, el era acţionat întotdeauna de aceeaşi forţă (greutatea sa) şi efectul era că viteza sa creştea constant. Aceasta arată că efectul real al unei forţe este întotdeauna modificarea vitezei unui corp, nu acela de a-l pune în mişcare, aşa cum se credea anterior. Aceasta mai însemna că ori de câte ori asupra unui corp nu acţionează o forţă, el îşi va menţine mişcarea în linie dreaptă cu aceeaşi viteză. Această idee a fost pentru prima dată enunţată explicit de Newton în lucrarea sa *Principia Mathematica* publicată în 1687, şi este cunoscută ca legea întâia a lui Newton. Legea a doua a lui Newton explică ce se întâmplă cu un corp atunci când

asupra sa acţionează o forţă. Aceasta afirmă că un corp va accelera, sau viteza lui se va modifica, cu o valoare proporţională cu forţa. (De exemplu, acceleraţia este de două ori mai mare, dacă forţa este de două ori mai mare). De asemenea, acceleraţia este de atâtea ori mai mică de câte ori este mai mare masa (sau cantitatea de materie) a corpului. (Aceeaşi forţă care acţionează asupra unui corp cu masa dublă va produce jumătate din acceleraţie). Un exemplu familiar este dat de un automobil: cu cât este mai puternic motorul, cu atât este mai mare acceleraţia, dar cu cât este mai greu automobilul, cu atât este mai mică acceleraţia, pentru acelaşi motor.

În plus faţă de legile mişcării, Newton a descoperit o lege care descrie forţa de gravitaţie; aceasta afirmă că fiecare corp atrage orice alt corp cu o forţă proporţională cu masa fiecărui corp. Astfel, forţa dintre două corpuri va fi de două ori mai puternică dacă unul dintre corpuri (să spunem, corpul A) are masa de două ori mai mare. Acest lucru este de aşteptat deoarece se poate considera că noul corp A este format din două corpuri cu masa iniţială. Fiecare ar atrage corpul B cu forţa iniţială. Astfel, forţa totală dintre A şi B ar fi de două ori forţa iniţială. şi dacă, să presupunem, unul dintre corpuri avea de două ori masa iniţială şi celălalt avea de trei ori masa sa iniţială, atunci forţa ar fi de şase ori mai puternică. Se poate vedea acum de ce toate corpurile cad la fel: un corp cu greutatea dublă va avea o forţă de gravitaţie dublă care-l trage în jos, dar va avea şi masa dublă. Conform legii a doua a lui Newton, aceste două efecte se vor anula unul pe celălalt, astfel că acceleraţia va fi aceeaşi în toate cazurile.

Legea gravitaţiei a lui Newton ne mai spune că atunci când corpurile sunt mai depărtate, forţa este mai mică. Legea gravitaţiei a lui Newton spune că atracţia gravitaţională a unei stele este exact un sfert din aceea a unei stele similare aflată la jumătatea distanţei. Această lege prezice cu mare precizie orbitele pământului, lunii şi planetelor. Dacă legea ar fi că atracţia gravitaţională a unei stele scade mai rapid cu distanţa, orbitele planetelor

nu ar fi eliptice, ele ar fi spirale spre soare. Dacă ea ar scădea mai lent, forţele gravitaţionale ale stelelor depărtate ar predomina faţă de aceea a pământului.

Marea diferenţă dintre ideile lui Aristotel şi acelea ale lui Galilei şi Newton este că Aristotel credea într-o stare preferenţială de repaus, pe care orice corp ar trebui s-o aibă dacă nu s-ar acţiona asupra sa cu o forţă sau un impuls. În particular, el credea că pământul era în repaus. Dar din legile lui Newton rezultă că nu există un criteriu unic al repausului. Se poate spune tot aşa de bine că, să presupunem, corpul A era în repaus şi corpul B în mişcare cu viteză constantă în raport cu corpul A, sau corpul B era în repaus şi corpul A era în mişcare. De exemplu, dacă se lasă deoparte pentru moment rotaţia pământului şi mişcarea pe orbită în jurul soarelui, se poate spune că pământul era în repaus şi că un tren de pe pământ se deplasa spre nord cu nouăzeci de mile pe oră sau că trenul era în repaus şi că pământul era în mişcare spre sud cu145 km pe oră. Dacă se efectuează experimente cu corpuri în mişcate în tren, toate legile lui Newton sunt de asemenea valabile. De exemplu, jucând ping-pong în tren, s-ar găsi că mingea ascultă de legile lui Newton exact ca o minge pe o masă de lângă calea ferată. Astfel nu există nicio modalitate de a spune cine se mişcă: trenul sau pământul.

Lipsa unui criteriu absolut pentru repaus înseamnă că nu se poate determina dacă două evenimente care au loc la momente diferite se produc în aceeaşi poziţie în spaţiu. De exemplu, să presupunem că mingea de pingpong din tren saltă în sus şi în jos, lovind masa de două ori în acelaşi loc la distanţă de o secundă. Pentru cineva de lângă calea ferată cele două salturi ar părea că au loc la patruzeci de metri distanţă, deoarece aceasta este distanţa parcursă de tren pe calea ferată, între salturi. Prin urmare, inexistenţa unui repaus absolut înseamnă că nu se poate da unui eveniment o poziţie absolută în spaţiu aşa cum credea Aristotel. Poziţiile evenimentelor şi distanţele dintre ele ar fi diferite pentru o persoană din tren şi una de lângă calea ferată şi nu ar exista un motiv

pentru a prefera poziţia unei persoane sau a celeilalte.

Newton a fost foarte îngrijorat de această lipsă a poziţiei absolute, sau a spaţiului absolut aşa cum a fost numit, deoarece ea nu era în concordanţă cu ideea sa despre un Dumnezeu absolut. De fapt, el a refuzat să accepte lipsa unui spaţiu absolut, chiar dacă aceasta era o consecinţă a legilor sale. Pentru această credinţă iraţională el a fost sever criticat de mulţi, cel mai notabil fiind episcopul Berkeley, un filosof care credea că toate obiectele materiale şi spaţiul şi timpul sunt o iluzie. Când faimosului dr. Johnson i s-a spus despre părerea lui Berkeley, el a strigat „O resping astfel” şi a făcut un gest de strivire cu piciorul pe o piatră mare.

Atât Aristotel cât şi Newton credeau în timpul absolut. Adică, ei credeau că intervalul de timp dintre două evenimente se poate măsura fără ambiguităţi şi că acest timp ar fi acelaşi indiferent cine l-ar măsura, cu condiţia să aibă un ceas bun. Timpul era complet separat de spaţiu şi independent de acesta. Majoritatea oamenilor ar spune că acesta este un punct de vedere de bun simţ. Totuşi, trebuie să ne schimbăm părerile despre spaţiu şi timp. Deşi aparent noţiunile noastre de bun simţ acţionează corect când se tratează obiecte ca merele, sau planetele, care se deplasează relativ lent, ele nu mai acţionează pentru obiecte care se deplasează cu sau aproape de viteza luminii.

Faptul că lumina se propagă cu o viteză finită, dar foarte mare, a fost descoperit prima oară în 1686 de astronomul danez Ole Christensen Roemer. El a observat că timpii în care sateliţii lui Jupiter treceau în spatele lui Jupiter nu erau egal distanţaţi, aşa cum ar fi de aşteptat dacă sateliţii s-ar deplasa în jurul lui Jupiter cu viteză constantă. Deoarece pământul şi Jupiter se deplasează pe orbite în jurul Soarelui, distanţa dintre ele variază. Roemer a observat că eclipsele sateliţilor lui Jupiter apăreau cu atât mai târziu cu cât noi eram mai departe de Jupiter. El a argumentat că acest lucru se întâmplă deoarece lumina provenită de la sateliţi are nevoie de mai mult timp pentru

a ajunge la noi atunci când suntem mai departe. Totuşi, măsurările variaţiilor distanţei dintre pământ şi Jupiter, făcute de el, nu erau foarte precise, astfel că valoarea sa pentru viteza luminii era de 225.000 km pe secundă, faţă de valoarea modernă de 300.000 km pe secundă. Cu toate acestea, realizarea lui Roemer, care nu numai că a dovedit că lumina se propagă cu viteză finită dar a şi măsurat acea viteză, a fost remarcabilă apărând cu unsprezece ani înainte ca Newton să publice *Principia Mathematica*.

O teorie corectă a propagării luminii nu a apărut până în 1865 când fizicianul britanic James Clerk Maxwell a reuşit să unifice teoriile parţiale care fuseseră utilizate până atunci pentru descrierea forţelor electricităţii şi magnetismului. Ecuaţiile lui Maxwell precizau că în câmpul combinat electromagnetic puteau exista perturbaţii ondulatorii şi acestea se propagau cu viteză fixă, ca undele dintr-un bazin. Dacă lungimea de undă a acestora (distanţa dintre două vârfuri succesive ale undei) este de un metru sau mai mare, ele sunt ceea ce acum numim unde radio. Pentru lungimi de undă mai mici de câţiva centimetri, ele se numesc microunde sau infraroşii (mai mari decât a zecea mia parte dintr-un centimetru). Lumina vizibilă are o lungime de undă între a patruzecea mia parte şi a optzecea mia parte dintr-un centimetru. Pentru lungimi de undă şi. mai scurte, ele se numesc raze ultraviolete, X şi gamma.

Teoria lui Maxwell prezicea că undele radio sau luminoase trebuie să se deplaseze cu o anumită viteză fixă. Din teoria lui Newton el eliminase ideea de repaus absolut, astfel că dacă se presupunea că lumina se deplasează cu viteză fixă, trebuie să se indice şi în raport cu ce trebuie măsurată acea viteză fixă. Prin urmare s-a sugerat că există o substanţă numită „eter” care există peste tot chiar în spaţiul „gol”. Undele de lumină trebuie să se deplaseze prin eter aşa cum undele sonore se deplasează în aer şi viteza lor trebuie deci să fie în raport cu eterul. Diferiţi observatori, care se deplasează în raport cu eterul, ar vedea lumina venind spre ei cu viteze diferite, dar viteza

luminii în raport cu eterul ar rămâne fixă. În particular, atunci când pământul se mişcă prin eter pe orbita sa în jurul soarelui, viteza luminii măsurată în direcţia mişcării pământului prin eter (când noi ne mişcăm spre sursa de lumină) trebuie să fie mai mare decât viteza luminii pe o direcţie perpendiculară faţă de direcţia mişcării (când noi nu ne mişcăm spre sursă). În 1887 Albert Michelson (care apoi a devenit primul american ce a primit premiul Nobel pentru fizică) şi Edward Morley au efectuat un experiment foarte atent la Case School of Applied Science din Cleveland. Ei au comparat viteza luminii în direcţia mişcării pământului cu aceea în direcţia perpendiculară pe cea a mişcării pământului. Spre marea lor surpriză, au găsit că ele sunt aceleaşi!

Între 1887 şi 1905 au fost câteva încercări, cea mai notabilă a fizicianului olandez Hendrik Lorentz, pentru a explica rezultatul experimentului Michelson-Morley prin obiecte care se contractă şi ceasuri care rămân în urmă atunci când se mişcă prin eter. Totuşi, într-o faimoasă lucrare din 1905, un funcţionar până atunci necunoscut din biroul elveţian de patente, Albert Einstein, a arătat că întreaga idee a eterului nu era necesară, cu condiţia să se abandoneze ideea timpului absolut. O atitudine similară a fost luată câteva săptămâni mai târziu de un matematician francez de primă mărime, Henri Poincaré. Argumentele lui Einstein erau mai aproape de fizică decât acelea ale lui Poincaré care considera că problema este matematică. De obicei noua teorie i se atribuie lui Einstein, dar Poincaré este amintit ca având numele legat de o parte importanţă a sa.

Postulatul fundamental al teoriei relativităţii, cum a fost numită, era că legile ştiinţei trebuie să fie aceleaşi pentru orice observatori care se mişcă liber, indiferent de viteza lor. Acest lucru era adevărat pentru legile mişcării ale lui Newton, dar acum ideea a fost dezvoltată pentru a include teoria lui Maxwell şi viteza luminii; toţi observatorii trebuie să măsoare aceeaşi viteză a luminii, indiferent cât de repede se mişcă ei. Această idee simplă

are unele consecinţe remarcabile. Probabil cele mai bine cunoscute sunt echivalenţa masei şi energiei, exprimată de faimoasa ecuaţie a lui Einstein: $E = mc^2$ (unde E este energia, în este masa şi e este viteza luminii) şi legea că niciun corp nu se poate deplasa mai repede decât viteza luminii. Datorită echivalentei energiei şi masei, energia pe care o are un corp datorită mişcării sale se va adăuga masei sale. Cu alte cuvinte, va face să fie mai greu să i se mărească viteza. În realitate acest efect este semnificativ numai pentru obiecte care se mişcă cu viteze apropiate de viteza luminii. De exemplu, la 10% din viteza luminii, masa unui obiect este cu numai 0, 5% mai mare decât în mod normal, în timp ce la 90% din viteza luminii ea ar fi de mai mult de două ori masa lui normală. Atunci când un obiect se apropie de viteza luminii, masa lui creşte şi mai rapid, astfel încât este necesară din ce în ce mai multă energie pentru a-i mări viteza. De fapt, el nu poate atinge viteza luminii, deoarece masa lui ar deveni infinită şi, prin echivalenţa energiei şi masei, ar trebui o cantitate infinită de energie pentru a realiza aceasta. De aceea, orice obiect normal este întotdeauna limitat de relativitate să se mişte cu viteze mai mici decât viteza luminii. Numai lumina sau alte unde care nu au masă intrinsecă se pot deplasa cu viteza luminii.

O consecinţă tot atât de remarcabilă a relativităţii este modul în care ea a revoluţionat ideile noastre despre spaţiu şi timp. În teoria lui Newton, dacă un impuls de lumină este trimis dintr-un loc în altul, diferiţi observatori ar fi de acord asupra timpului necesar pentru acea deplasare (deoarece timpul este absolut), dar nu vor fi de acord întotdeauna asupra distanţei parcurse de lumină (deoarece spaţiul nu este absolut). Deoarece viteza luminii este raportul dintre distanţa pe care a parcurs-o şi timpul necesar pentru aceasta, observatori diferiţi vor măsura viteze diferite ale luminii. Pe de altă parte, în relativitate, toţi observatorii trebuie să fie de acord asupra vitezei luminii. Totuşi, ei tot nu sunt de acord asupra distanţei pe care a parcurs-o lumina, astfel că acum ei nu trebuie deci

să fie de acord nici asupra timpului necesar pentru aceasta. (Timpul reprezintă raportul dintre distanţa pe care a parcurs-o lumina asupra căreia observatorii nu sunt de acord şi viteza luminii asupra căreia ei sunt de acord.) Cu alte cuvinte, teoria relativităţii pune capăt ideii timpului absolut! Reiese că fiecare observator trebuie să aibă propria măsură a timpului, înregistrată de un ceas pe care îl poartă cu el şi că ceasuri identice purtate de observatori diferiţi nu vor fi, în mod necesar, de acord.

Fiecare observator poate utiliza radarul pentru a spune unde şi când are loc un eveniment, trimiţând un impuls de lumină sau unde radio. O parte din impuls se reflectă înapoi la locul de producere a evenimentului şi observatorul măsoară timpul după care primeşte ecoul. Atunci se spune că timpul producerii evenimentului este exact la mijloc, între momentul trimiterii impulsului şi momentul primirii undelor reflectate; distanţa la care se produce evenimentul este jumătate din timpul pentru această deplasare dus-întors înmulţit cu viteza luminii. (În acest sens, un eveniment este ceva care are loc într-un singur punct în spaţiu, într-un moment specificat.) Această idee este prezentată în figura 2.1, care reprezintă un exemplu de diagramă spaţiu-timp. Utilizând acest procedeu, observatorii care se mişcă unii faţă de alţii vor atribui timpi diferiţi şi poziţii diferite aceluiaşi eveniment. Nicio măsurare a unui anumit observator nu este mai corectă decât o măsurare a altui observator, dar toate măsurările sunt corelate. Orice observator poate calcula precis ce timp şi ce poziţie va atribui evenimentului oricare alt observator, cu condiţia să ştie viteza relativă a celuilalt observator.

Astăzi noi utilizăm această metodă pentru a măsura precis distanţele, deoarece putem măsura timpul mai precis decât lungimea. De fapt, metrul este definit ca fiind distanţa parcursă de lumină în 0,000000003335640952 secunde, măsurate cu un ceas cu cesiu. (Explicaţia acestui număr este că el corespunde definiţiei istorice a metrului în funcţie de două semne pe o anumită bară de platină

ţinută la Paris.) De asemenea, putem utiliza o unitate de lungime nouă, mai convenabilă, numită secundă-lumină. Aceasta este definită simplu ca fiind distanţa parcursă de lumină într-o secundă. În teoria relativităţii, definim acum distanţa în funcţie de timp şi viteza luminii, astfel că rezultă automat că fiecare observator va măsura aceeaşi viteză a luminii (prin definiţie, 1 metru pe 0,000000003335640952 secunde). Nu este nevoie să se introducă ideea de eter, a cărui prezenţă oricum nu poate fi detectată aşa cum a arătat experimentul Michelson Morley. Totuşi, teoria relativităţii ne forţează să ne schimbăm fundamental ideile despre spaţiu şi timp. Trebuie să acceptăm că timpul nu este complet separat şi independent de spaţiu, ci se combină cu acesta formând un obiect numit spaţiu-timp.

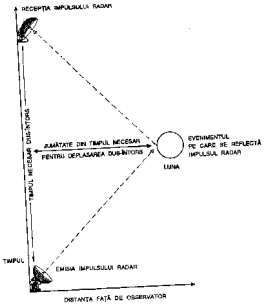


FIGURA 2.1.

Este bine cunoscut că poziţia unui punct în spaţiu poate fi descrisă de trei numere, sau coordonate. De exemplu, se poate spune că un punct dintr-o cameră se găseşte la doi metri faţă de un perete, la un metru de altul şi un metru şi jumătate deasupra podelei. Sau se poate stabili că un punct era la o anumită latitudine şi longitudine şi la o anumită înălţime deasupra nivelului mării. Se pot utiliza oricare trei coordonate adecvate, deşi ele au doar un domeniu limitat de valabilitate. Nu s-ar putea specifica poziţia lunii printr-un număr de kilometri la nord şi la vest de Piccadilly Circus şi la un număr de metri deasupra nivelului mării. În schimb, ea se poate descrie

prin distanţa faţă de soare, distanţa faţă de planul orbitelor planetelor şi unghiul dintre linia care uneşte luna şi soarele şi linia care uneşte soarele cu o stea apropiată cum ar fi Alpha Centauri. Chiar aceste coordonate nu ar fi de mare folos pentru descrierea poziţiei soarelui în galaxia noastră sau a poziţiei galaxiei noastre în grupul local de galaxii. De fapt, întregul univers se poate descrie printr-o colecţie de zone care se suprapun. În fiecare zonă, pentru a specifica poziţia unui punct se poate utiliza un set diferit de trei coordonate.

Un eveniment este ceva care se întâmplă într-un anumit punct din spaţiu şi într-un anumit moment. Astfel, el poate fi specificat prin patru numere sau coordonate. şi aici, alegerea coordonatelor este arbitrară; se pot utiliza oricare trei coordonate spaţiale bine definite şi oricare măsură a timpului. În teoria relativităţii nu există o distincţie reală între coordonatele spaţiale şi temporale exact aşa cum nu există o diferenţă reală între oricare două coordonate spaţiale. Se poate alege un set nou de coordonate în care, să spunem, prima coordonată spaţială era o combinaţie între prima şi a doua dintre vechile coordonate spaţiale. De exemplu, în loc de a măsura poziţia unui punct de pe pământ prin distanţa în kilometri la nord de Piccadilly şi la vest de Piccadilly se poate utiliza distanţa în kilometri la nord-est de Piccadilly şi la nord-vest de Piccadilly. Asemănător, în teoria relativităţii se poate utiliza o nouă coordonată temporală care era vechiul timp (în secunde) plus distanţa (în secunde-lumină) la nord de Piccadilly.

Adesea este util să se ia în considerare cele patru coordonate ce specifică poziţia sa într-un spaţiu cvadridimensional numit spaţiu-timp. Este imposibil să se imagineze un spaţiu cvadri-dimensional. Mie personal mi se pare destul de greu să vizualizez spaţiul tri-dimensional! Totuşi, este uşor să se traseze diagrame ale spaţiilor bidimensionale, cum este suprafaţa pământului. (Suprafaţa pământului este bi-dimensională deoarece poziţia unui punct poate fi specificată prin două coordonate, latitudine

şi longitudine.) în general, eu voi utiliza diagrame în care timpul creşte în sus şi una din dimensiunile spaţiale este prezentată orizontal. Celelalte două dimensiuni spaţiale sunt ignorate sau, uneori, una din ele este indicată în perspectivă. (Acestea se numesc diagrame spaţio-temporale, cum este figura 2.1.) De exemplu, în figura 2.2 timpul se măsoară pe verticală în ani şi distanţa de-a lungul liniei de la soare la Alpha Centauri se măsoară pe orizontală în kilometri. Traiectoriile soarelui şi Alpha Centauri în spaţiu şi timp sunt prezentate ca linii verticale în stânga şi în dreapta diagramei. O rază de lumină de la soare urmează a linie diagonală şi are nevoie de patru ani pentru a ajunge de la soare la Alpha Centauri.

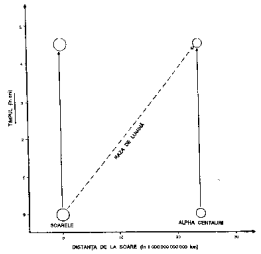


FIGURA 2.2

Aşa cum am văzut, ecuaţiile lui Maxwell preziceau că viteza luminii trebuie să fie aceeaşi indiferent de viteza sursei, şi acest lucru a fost confirmat de măsurări precise. Rezultă din aceasta că dacă se emite un impuls de lumină la un anumit moment şi într-un anumit punct din spaţiu, atunci pe măsură ce trece timpul ei se va împrăştia ca o sferă de lumină ale cărei dimensiune şi poziţie sunt independente de viteza sursei. După o milionime de secundă lumina se va împrăştia formând o sferă cu raza de 300 metri; după două milionimi de secundă, raza va fi de 600 metri ş.a.m.d. Va fi la fel ca undele care se răspândesc pe suprafaţa unui bazin când se aruncă o piatră în apă. Undele se răspândesc ca un cerc ce devine tot mai mare cu trecerea timpului. Dacă se consideră un model tri-dimensional care constă din suprafaţa bidimensională a bazinului şi o dimensiune a timpului, cercul de unde în expansiune va marca un con cu vârful în locul şi timpul în

care piatra a lovit apa (fig: 2.3). Asemănător, lumina care se răspândeşte de la un eveniment formează un con tridimensional în spaţiu-timpul cvadri-dimensional. Acest con se numeşte conul de lumină viitor al evenimentului. În acelaşi fel putem trasa un alt con, numit conul de lumină trecut, care reprezintă setul de evenimente din care impulsul de lumină poate ajunge la evenimentul dat (fig. 2.4).

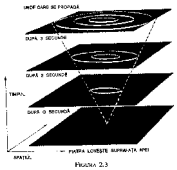


Figura 2.3

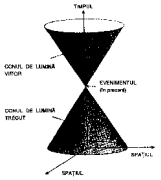


Figura 2.4

Conurile de lumină trecut şi viitor ale evenimentului p împart spaţiul-timpul în trei regiuni (fig. 2.5). Viitorul absolut al evenimentului este regiunea din interiorul conului de lumină viitor al lui P. El este setul tuturor evenimentelor care pot fi afectate de ceea ce se întâmplă în P. Evenimentele din afara conului de lumină al lui P nu pot fi ajunse de semnalele din P deoarece nimic nu se deplasează mai repede decât lumina. Prin urmare ele nu pot fi influenţate de ceea ce se întâmplă în P. Trecutul absolut al lui P este regiunea din interiorul conului de lumină trecut. El este setul tuturor evenimentelor ale căror semnale care se deplasează la sau sub viteza luminii pot ajunge în P. El este setul tuturor evenimentelor care pot afecta ceea ce se întâmplă în P. Dacă se cunoaşte ceea ce se întâmplă la un anumit moment undeva într-o regiune a spaţiului care se găseşte în conul de lumină trecut al lui P, se poate prezice ce se va întâmpla în P. Restul reprezintă regiunea de spaţiu-timp care nu se găseşte în conurile de

lumină viitor sau trecut ale lui P. Evenimentele din această regiune nu pot afecta sau nu pot fi afectate de evenimente din P. De exemplu, dacă soarele ar înceta să lumineze chiar în momentul de faţă, el nu ar afecta obiectele de pe Pământ în momentul de faţă deoarece ele s-ar găsi în regiunea din afara conului evenimentului corespunzând stingerii soarelui (fig. 2.6). Noi am şti despre aceasta numai după 8 minute, timpul necesar luminii să ajungă de la soare la noi. Numai atunci evenimentele de pe Pământ s-ar găsi în conul de lumină viitor al evenimentului corespunzător stingerii soarelui. În mod asemănător, nu cunoaştem ce se întâmplă la momente îndepărtate în univers; lumina pe care o vedem de la galaxiile îndepărtate le-a părăsit acum milioane de ani şi în cazul obiectelor celor mai îndepărtate pe care le vedem, lumina le-a părăsit acum circa opt miliarde de ani. Astfel, când privim universul, îl vedem aşa cum a fost în trecut.

Dacă se neglijează efectele gravitaţionale, aşa cum au făcut Einstein şi Poincaré în 1905, se obţine ceea se numeşte teoria specială a relativităţii. Pentru fiecare eveniment în spaţiu-timp putem construi un con de lumină (setul tuturor traiectoriilor posibile ale luminii în spaţiu-timp emise de eveniment) şi deoarece viteza luminii este aceeaşi pentru orice eveniment şi în orice direcţie, toate conurile de lumină vor fi identice şi vor fi îndreptate în aceeaşi direcţie. Teoria mai spune că nimic nu se poate deplasa mai repede decât lumina. Aceasta înseamnă că traiectoria oricărui obiect în spaţiu şi timp trebuie să fie reprezentată printr-o linie care se găseşte în interiorul conului de lumină pentru fiecare eveniment din el (fig. 2.7).

Teoria specială a relativităţii a reuşit foarte bine să explice că viteza luminii apare aceeaşi pentru toţi observatorii (aşa cum a arătat experimentul Michelson-Morley) şi să descrie ce se întâmplă atunci când obiectele se mişcă la viteze apropiate de viteza luminii. Totuşi, ea nu era compatibilă cu teoria newtoniană a gravitaţiei, care spune că obiectele se atrăgeau unele pe altele cu o forţă

care depinde de distanţa dintre ele. Aceasta înseamnă că dacă se deplasează unul dintre obiecte, forţa exercitată asupra celorlalte s-ar schimba instantaneu. Sau, cu alte cuvinte, efectele gravitaţionale s-ar deplasa cu viteză infinită, în loc să se deplaseze la sau sub viteza luminii, aşa cum cerea teoria specială a relativităţii. Între 1908 şi 1914 Einstein a făcut mai multe încercări nereuşite de a găsi o teorie a gravitaţiei care să fie compatibilă cu teoria specială a relativităţii. În cele din urmă, în 1915, el a propus ceea ce noi numim acum teoria generală a relativităţii.

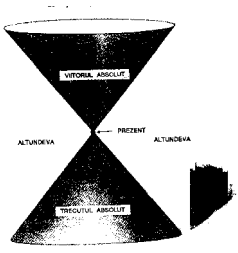
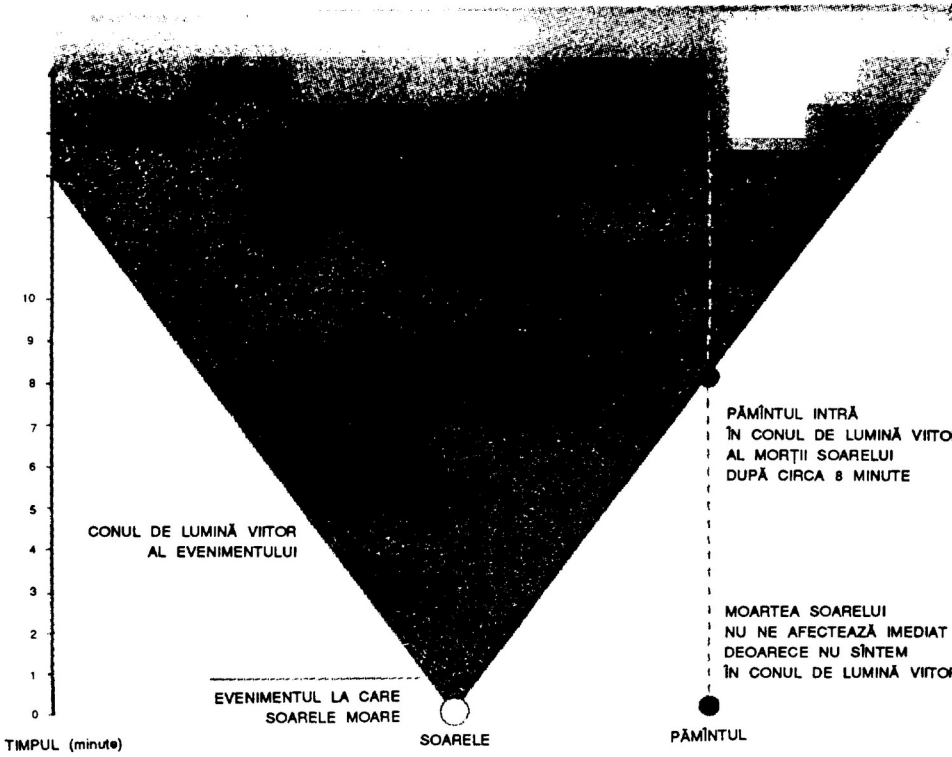


FIGURA 2.5


10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
TIMPUL (minute)
CONUL DE LUMINĂ VIITOR
AL EVENIMENTULUI
EVENIMENTUL LA CARE
SOARELE MOARE
SOARELE
PĂMÎNTUL
PĂMÎNTUL INTRĂ
ÎN CONUL DE LUMINĂ VIITO
AL MORȚII SOARELUI
DUPĂ CIRCA 8 MINUTE
MOARTEA SOARELUI
NU NE AFECTEAZĂ IMEDIAT
DEOARECE NU SÎNTEM
ÎN CONUL DE LUMINĂ VIITO

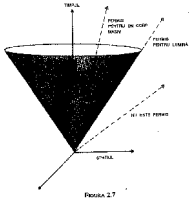


FIGURA 2.7

Einstein a emis ipoteza revoluţionară că gravitaţia nu este o forţă ca celelalte forţe, ci este o consecinţă a faptului că spaţiu-timpul nu este plan, aşa cum s-a presupus anterior; el este curbat, sau „înfăşurat”, de distribuţia masei şi energiei în el. Corpuri ca pământul nu sunt determinate să se mişte pe orbite curbe de o forţă numită gravitaţie; în schimb ele urmează corpul cel mai apropiat printr-o traiectorie dreaptă într-un spaţiu curbat, care se numeşte o linie geodezică. O linie geodezică este

traiectoria cea mai scurtă (sau cea mai lungă) între două puncte apropiate. De exemplu, suprafaţa pământului este un spaţiu curbat bi-dimensional. O linie geodezică pe pământ se numeşte un cerc mare şi este ruta cea mai scurtă dintre două puncte (fig. 2.8). Deoarece linia geodezică este calea cea mai scurtă între două aeroporturi, aceasta este ruta pe care un navigator aerian o va indica pilotului pentru zbor. În relativitatea generalizată, corpurile urmează întotdeauna linii drepte în spaţiu-timpul cvadridimensional dar, cu toate acestea, nouă ni se va părea că se deplasează pe traiectorii curbe în spaţiul nostru tridimensional. (Este la fel ca atunci când se priveşte un avion care zboară deasupra unui teren deluros. Deşi el urmează o linie dreaptă în spaţiul tri-dimensional, urma sa parcurge o traiectorie curbată pe solul bi-dimensional.)

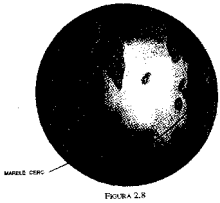
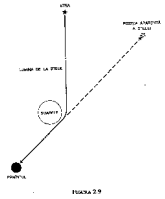


FIGURA 2.8

Masa soarelui curbează spaţiu-timpul astfel încât deşi pământul urmează o linie dreaptă din spaţiu-timpul cvadridimensional, nouă ni se pare că se mişcă de-a lungul unei orbite circulare în spaţiul tri-dimensional. De fapt, orbitele planetelor prezise de relativitatea generalizată sunt aproape exact aceleaşi cu cele prezise de teoria newtoniană a gravitaţiei. Totuşi, în cazul lui Mercur care, fiind cea mai apropiată planetă de soare, simte efectele gravitaţionale cel mai puternic şi are o orbită mai alungită, relativitatea generalizată prezice că axa lungă a elipsei trebuie să se rotească în jurul soarelui cu o valoare de circa un grad în zece mii de ani. Oricât de mic este acest efect, el a fost observat înainte de 1915 şi a servit drept una din primele confirmări ale teoriei lui Einstein. În

ultimii ani au fost măsurate cu radarul abateri chiar mai mici ale orbitelor celorlalte planete faţă de prezicerile newtoniene şi s-a descoperit că sunt în concordanţă cu prezicerile relativităţii generalizate.

De asemenea, razele de lumină trebuie să urmeze linii geodezice în spaţiu-timp. Din nou, faptul că spaţiul este curbat înseamnă că lumina nu mai pare că se propagă după linii drepte în spaţiu. Astfel, relativitatea generalizată prezice că lumina trebuie să fie curbată de câmpurile gravitaţionale. De exemplu, teoria prezice că conurile de lumină ale punctelor din apropierea soarelui ar fi uşor curbate spre interior, datorită masei soarelui. Aceasta înseamnă că lumina unei stele îndepărtate care trece pe lângă soare ar fi deviată cu un unghi mic, făcând ca steaua să apară într-o poziţie diferită pentru un observator de pe pământ (fig. 2.9). Desigur, dacă lumina stelei a trecut întotdeauna în apropierea soarelui, noi nu am putea spune dacă lumina a fost deviată sau steaua a fost în realitate acolo unde o vedem. Totuşi, atunci când pământul se mişcă în jurul soarelui, diferite stele par a trece în spatele soarelui şi lumina lor este deviată. Prin urmare, ele îşi schimbă poziţia aparentă în raport cu celelalte stele.



În mod normal, acest efect este foarte greu de văzut, deoarece lumina soarelui face imposibilă observarea stelelor care apar pe cer în apropierea soarelui. Totuşi, acest lucru este posibil în timpul unei eclipse de soare, când lumina soarelui este blocată de lună. Prezicerea lui Einstein privind devierea luminii nu a putut fi testată imediat în 1915, deoarece era în timpul primului război mondial şi abia în 1919 o expediţie britanică, ce a observat o eclipsă din vestul Africii, a arătat că într-adevăr lumina a fost deviată de soare, exact aşa cum a prezis teoria.

Această verificare a unei teorii germane de oameni de ştiinţă britanici a fost salutată ca un act măreţ de reconciliere între cele două ţări după război. De aceea, este o ironie că o examinare ulterioară a fotografiilor luate de acea expediţie a arătat că erorile erau tot atât de mari ca şi efectul pe care încercau să-l măsoare. Măsurarea lor a fost un noroc pur, sau un caz de cunoaştere a rezultatului pe care au dorit să-l obţină, o întâmplare care nu este neobişnuită în ştiinţă. Totuşi, devierea luminii a fost precis confirmată de mai multe observaţii ulterioare.

O altă prezicere a relativităţii generalizate este că timpul trebuie să pară că trece mai încet lângă un corp masiv ca pământul. Aceasta deoarece există o relaţie între energia luminii şi frecvenţa sa (adică numărul de unde de lumină pe secundă): cu cât este mai mare energia cu atât este frecvenţa mai mare. Atunci când lumina se propagă în sus în câmpul gravitaţional ai pământului, ea pierde energie şi astfel frecvenţa sa scade. (Aceasta înseamnă că timpul dintre un vârf al undei şi următorul creşte.) Pentru cineva aflat la înălţime ar părea că tot ce se întâmplă jos necesită un timp mai lung. Această prezicere a fost testată în 1962, cu ajutorul unei perechi de ceasuri foarte precise montate în vârful şi la baza unui turn de apă. S-a descoperit că ceasul de la bază, care era mai aproape de pământ, mergea mai încet, în exactă concordanţă cu relativitatea generalizată. Diferenţa de viteză a ceasurilor la diferite înălţimi deasupra pământului este acum de importanţă practică considerabilă, odată cu apariţia sistemelor de navigaţie foarte precise bazate pe semnale de la sateliţi. Dacă se ignoră prezicerile relativităţii generalizate, poziţia calculată va fi greşită cu câţiva kilometri.

Legea mişcării a lui Newton pune capăt ideii de poziţie absolută în spaţiu. Teoria relativităţii a renunţat la timpul absolut. Să considerăm o pereche de gemeni. Să presupunem că unul dintre gemeni se duce să trăiască pe vârful unui munte, iar celălalt locuieşte la malul mării. Primul va îmbătrâni mai repede decât al doilea. Astfel,

dacă se întâlnesc, unul va fi mai în vârstă decât celălalt. În acest caz, diferenţa de vârstă va fi foarte mică, dar ea ar fi mult mai mare dacă unul dintre gemeni pleacă într-o călătorie lungă cu o navă spaţială care se deplasează cu o viteză apropiată de viteza luminii. Atunci când se întoarce, el va fi mult mai tânăr decât cel care a rămas pe pământ. Acesta se numeşte paradoxul gemenilor, dar el este un paradox numai dacă se consideră că timpul este absolut. În teoria relativităţii nu există timp absolut unic, dar în schimb fiecare individ are propria sa măsură a timpului care depinde de locul către care se deplasează şi de modul în care se deplasează.

Înainte de 1915, spaţiul şi timpul au fost considerate ca o arenă fixă în care au loc evenimentele, dar care nu este afectată de ceea ce se întâmplă în ea. Acest lucru a fost adevărat chiar pentru teoria specială a relativităţii: Corpurile se mişcau, forţele atrăgeau şi respingeau, dar timpul şi spaţiul pur şi simplu continuau să rămână neafectate. Era natural să se considere că spaţiul şi timpul se derulau la infinit.

Totuşi, în teoria generală a relativităţii situaţia este destul de diferită. Spaţiul şi timpul sunt acum mărimi dinamice: atunci când un corp se mişcă, sau o forţă acţionează, aceasta afectează curbarea spaţiului şi timpului şi la rândul său structura spaţiu-timpului afectează modul în care corpurile se mişcă şi forţele acţionează. Spaţiul şi timpul nu numai că afectează, dar sunt afectate de orice se întâmplă în univers. Exact aşa cum nu se poate vorbi despre evenimente din univers fără noţiuni de spaţiu şi timp, tot aşa în relativitatea generalizată nu are sens să se vorbească despre spaţiu şi timp în afara universului.

Pentru următoarele decenii această nouă înţelegere a spaţiului şi timpului a revoluţionat imaginea noastră despre univers. Vechea idee despre universul în esenţă neschimbător care a existat şi continuă să existe a fost înlocuită pentru totdeauna cu noţiunea de univers dinamic în expansiune care părea să fi început la un moment finit

în trecut şi care ar putea să se termine la un moment finit în viitor. Această revoluţie formează subiectul următorului capitol. Şi, ani de zile mai târziu, a fost de asemenea punctul de început al activităţii mele în fizica teoretică. Roger Penrose şi cu mine am arătat că teoria generală a relativităţii a lui Einstein însemna că universul trebuie să aibă un început şi, posibil, un sfârşit.

3. Universul în expansiune

Dacă cineva priveşte cerul într-o noapte senină, fără lună, obiectele cele mai strălucitoare care se văd sunt probabil planetele Venus, Marte, Jupiter şi Saturn. Vor mai fi şi un număr mare de stele exact la fel ca soarele nostru, dar mult mai departe de noi. De fapt, unele din aceste stele fixe par a-şi schimba foarte lent poziţiile una faţă de cealaltă atunci când pământul se mişcă pe orbită în jurul soarelui: în realitate ele nu sunt deloc fixe! Aceasta deoarece ele sunt relativ aproape de noi. Pe măsură ce pământul se mişcă în jurul soarelui le vedem din diferite poziţii pe fondul stelelor mult mai îndepărtate. Din fericire, aceasta ne permite să măsurăm direct distanţa dintre stele şi noi: cu cât sunt mai aproape, cu atât par că se deplasează mai mult. Steaua cea mai apropiată, numită Proxima Centauri, este la o distanţă de circa patru ani lumină (lumina care vine de la ea are nevoie de circa patru ani să ajungă la Pământ), sau aproape treizeci şi şapte de milioane de milioane de kilometri. Majoritatea celorlalte stele care sunt vizibile cu ochiul liber se găsesc în limitele a câteva sute de ani lumină de noi. Pentru comparaţie, soarele nostru este la numai 8 minute lumină depărtare! Stelele vizibile apar împrăştiate pe tot cerul nopţii, dar sunt concentrate în special într-o bandă pe care o numim Calea Lactee. În anul 1750, unii astronomi sugerau că apariţia Căii Lactee poate fi explicată dacă majoritatea stelelor vizibile se găsesc într-o singură configuraţie în formă de disc, un exemplu de ceea ce numim galaxie spirală. Numai câteva zeci de ani mai târziu, astronomul

Sir William Herschel a confirmat ideea catalogând minuţios poziţiile şi distanţele unui mare număr de stele. Chiar aşa, ideea a fost complet acceptată abia la începutul acestui secol.

Imaginea modernă a universului datează doar din 1924, când astronomul american Edwin Hubble a demonstrat că galaxia noastră nu era singura. De fapt existau multe altele, cu întinderi vaste de spaţiu gol între ele. Pentru a dovedi aceasta, a trebuit să determine distanţele până la celelalte galaxii, care sunt atât de îndepărtate încât, spre deosebire de stelele apropiate, ele apar fixe. Prin urmare Hubble a fost silit să utilizeze metode indirecte pentru măsurarea distanţelor. Acum, strălucirea aparentă a unei stele depinde de doi factori: de cât de multă lumină radiază (luminozitatea sa) şi de cât este de departe de noi. Pentru stelele apropiate, putem măsura strălucirea lor aparentă şi distanţa până la ele, astfel că putem afla luminozitatea lor. Invers, dacă ştim luminozitatea stelelor din alte galaxii, putem afla distanţa la care se află măsurând strălucirea lor aparentă. Hubble a observat că atunci când sunt destul de aproape de noi ca să le măsurăm, anumite tipuri de stele au întotdeauna aceeaşi luminozitate, prin urmare, a argumentat el, dacă găsim stele de acest fel în altă galaxie, putem presupune că ele au aceeaşi luminozitate şi astfel putem calcula distanţa până la acea galaxie. Dacă putem face acest lucru pentru mai multe stele din aceeaşi galaxie şi calculele noastre dau mereu aceeaşi distanţă, putem fi destul de siguri de estimarea noastră.

În acest fel, Edwin Hubble a aflat distanţele până la nouă galaxii diferite. ştim acum că galaxia noastră este numai una din câteva sute de miliarde care se pot vedea cu telescoapele moderne, fiecare galaxie conţinând câteva sute de miliarde de stele. Figura 3.1 prezintă o imagine a unei galaxii spirale văzută din profil, similară cu felul în care credem că trebuie să arate galaxia noastră pentru cineva care trăieşte în altă galaxie. Noi trăim într-o galaxie care are aproape o sută de mii de ani lumină diametru şi

care se roteşte lent; stelele din braţele sale spirale se învârtesc în jurul centrului său o dată la fiecare câteva sute de milioane de ani. Soarele nostru este doar o stea galbenă, obişnuită, de dimensiune medie, aflată lângă marginea interioară a uneia dintre braţele spirale. Am parcurs desigur un drum lung de la Aristotel şi Ptolemeu când credeam că pământul era centrul universului!

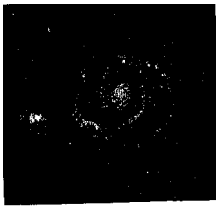


FIGURA 3.1

Stelele sunt atât de îndepărtate încât ne apar doar ca puncte de lumină. Nu putem vedea dimensiunea sau forma lor. Atunci, cum putem împărţi stelele în diferite tipuri? Pentru marea majoritate a stelelor există doar o trăsătură caracteristică pe care o putem observa culoarea luminii lor. Newton a descoperit că dacă lumina soarelui trece printr-o bucată de sticlă de formă triunghiulară, numită prismă, ea se descompune în culorile sale componente (spectrul său) ca într-un curcubeu. Focalizând un telescop pe stea sau pe o galaxie, se poate observa în mod asemănător spectrul luminii acelei stele sau galaxii. Stele diferite au spectre diferite, dar strălucirea relativă a diferitelor culori este întotdeauna exact ceea ce ar fi de aşteptat să se găsească în lumina emisă de un obiect incandescent. De fapt, lumina emisă de un obiect incandescent are un spectru caracteristic care depinde numai de temperatura sa un spectru termic. Aceasta înseamnă că putem spune care este temperatura unei stele din spectrul luminii sale. Mai mult, descoperim că anumite culori foarte specifice lipsesc din spectrele stelelor şi aceste culori lipsă pot varia de la o stea la alta. Deoarece ştim că fiecare element chimic absoarbe un set caracteristic de culori foarte specifice, comparându-le cu

acelea care lipsesc din spectrul unei stele, putem determina exact ce elemente există în atmosfera stelei.

În anii ’20, când astronomii au început să privească spectrele stelelor din alte galaxii, au descoperit ceva deosebit: erau aceleaşi seturi caracteristice de culori lipsă ca şi la stelele din galaxia noastră, dar toate erau deplasate spre capătul roşu al spectrului cu aceeaşi cantitate relativă. Pentru a înţelege implicaţiile acestui fapt, trebuie să înţelegem mai întâi efectul Doppler. Aşa cum am văzut, lumina vizibilă constă din fluctuaţii, sau unde, în timpul electromagnetic. Frecvenţa (sau numărul de unde pe secundă) luminii este extrem de înaltă, variind de la patru la şapte sute de milioane de milioane de unde pe secundă. Diferitele frecvenţe ale luminii reprezintă ceea ce ochiul uman vede ca diferite culori, frecvenţele cele mai joase apăsând la capătul roşu al spectrului şi frecvenţele cele mai înalte la capătul albastru. Să ne imaginăm acum o sursă de lumină aflată la distanţă constantă de noi, cum este o stea, care emite unde de lumină cu frecvenţă constantă. Evident, frecvenţa undelor pe care le recepţionăm va fi aceeaşi cu frecvenţa la care sunt emise (câmpul gravitaţional al galaxiei nu ar fi suficient de mare pentru a avea un efect semnificativ). Să presupunem acum că sursa începe să se mişte spre noi. Când sursa emite următorul maxim al undei ea va fi mai aproape de noi astfel încât timpul necesar maximului undei să ajungă la noi este mai mic şi prin urmare numărul de unde pe care-l recepţionăm în fiecare secundă (adică frecvenţa) este mai mare decât atunci când steaua era staţionară. În mod corespunzător, dacă sursa se depărtează de noi, frecvenţa undelor pe care le recepţionăm va fi mai mică. Prin urmare, în cazul luminii, aceasta înseamnă că stelele care se depărtează de noi vor avea spectrul deplasat spre capătul roşu al spectrului (deplasare spre roşu) şi acelea care se mişcă spre noi vor avea spectrul deplasat spre albastru. Această relaţie între frecvenţă şi viteză, care se numeşte efectul Doppler, reprezintă o experienţă de fiecare zi. Ascultaţi o maşină care trece pe stradă: atunci

când maşina se apropie motorul său are sunetul mai ascuţit (corespunzător unei frecvenţe mai înalte a undelor sonore) şi atunci când trece şi se îndepărtează, sunetul său este mai grav. Comportarea undelor de lumină sau radio este similară. Într-adevăr, poliţia utilizează efectul Doppler pentru a măsura viteza maşinilor măsurând frecvenţa impulsurilor undelor radio reflectate de acestea.

După ce a dovedit existenţa altor galaxii, în anii care au urmat, Hubble şi-a petrecut timpul catalogând distanţele la care se află şi observând spectrele lor. În acea vreme majoritatea oamenilor se aşteptau ca galaxiile să se mişte de jur-împrejur la întâmplare, şi deci se aşteptau să găsească tot atât de multe spectre deplasate către albastru ca şi cele deplasate spre roşu. Prin urmare, a fost destul de surprinzătoare descoperirea că majoritatea galaxiilor apăreau deplasate spre roşu: aproape toate se depărtau de noi! Şi mai surprinzătoare a fost descoperirea pe care Hubble a publicat-o în 1929: nici mărimea deplasării spre roşu a unei galaxii nu este întâmplătoare, ci este direct proporţională cu distanţa galaxiei faţă de noi. Sau, cu alte cuvinte, cu cât este mai îndepărtată de galaxie, cu atât se depărtează mai repede! Şi aceasta însemna că universul nu poate fi static, aşa cum credeau toţi înainte, ci de fapt este în expansiune; distanţa dintre diferitele galaxii creşte neîncetat.

Descoperirea expansiunii universului a fost una din marile revoluţii intelectuale ale secolului douăzeci. Acum este uşor să te miri de ce nu s-a gândit nimeni la ea mai înainte. Newton şi alţii ar fi trebuit să realizeze că un univers static ar începe curând să se contracte sub influenţa gravitaţiei. Totuşi, dacă expansiunea s-ar face mai repede decât cu o anumită valoare critică, gravitaţia nu ar fi niciodată suficient de puternică să o oprească şi universul ar continua să se extindă pentru totdeauna. Cam aşa se întâmplă când se lansează o rachetă în sus de pe suprafaţa pământului. Dacă ea are o viteză destul de scăzută, gravitaţia va opri în cele din urmă racheta şi ea va începe să cadă. Pe de altă parte, dacă racheta are o viteză

mai mare decât o valoare critică (unsprezece km pe secundă) gravitaţia nu va fi suficient de puternică s-o tragă înapoi, astfel că ea se va depărta de pământ pentru totdeauna. Această comportare a universului ar fi putut fi prezisă de teoria gravitaţiei a lui Newton în orice moment al secolelor nouăsprezece, optsprezece sau chiar la sfârşitul secolului şaptesprezece. Totuşi, credinţa într-un univers static era atât de puternică încât a persistat până la începutul secolului douăzeci. Chiar Einstein, când a formulat teoria generală a relativităţii în 1915, era atât de sigur că universul trebuia să fie static încât şi-a modificat teoria ca să facă acest lucru posibil, introducând în ecuaţiile sale o aşa-numită constantă cosmologică. Einstein a introdus o nouă forţă „antigravitaţională" care spre deosebire de alte forţe, nu provenea dintr-o anumită sursă ci era încorporată în structura spaţiu-timpului. El pretindea că spaţiu-timpul are o tendinţă de expansiune încorporată şi aceasta poate fi făcută să echilibreze exact atracţia întregii materii din univers, astfel încât ar rezultă; un univers static. Se pare că numai un singur om a fost dispus să ia drept bună relativitatea generalizată şi în timp ce Einstein şi alţi fizicieni căutau modalităţi de evitare a predicţiei unui univers nestatic, fizicianul şi matematicianul rus Alexander Friedmann s-a apucat s-o explice.

Friedmann a emis două ipoteze foarte simple despre univers: că universul arată identic în orice direcţie privim şi că acest lucru ar fi adevărat şi dacă am observa universul din altă parte. Numai din aceste două idei, Friedmann a arătat că nu trebuie să ne aşteptăm ca universul să fie static. De fapt, în 1922, cu câţiva ani înainte de descoperirea lui Edwin Hubble, Friedmann a prezis exact ce a descoperit Hubble!

În mod clar ipoteza că universul arată la fel în orice direcţie nu este în realitate adevărată. De exemplu, aşa cum am văzut, celelalte stele din galaxie formează o bandă distinctă de lumină pe cerul nopţii, numită Calea Lactee. Dar dacă privim galaxiile îndepărtate, pare să fie mai mult

sau mai puţin acelaşi număr de galaxii. Astfel, universul pare să fie aproximativ acelaşi în orice direcţie, cu condiţia să fie văzut la scară mare în comparaţie cu distanţa dintre galaxii şi să fie ignorate diferenţele la scară mică. Pentru multă vreme, aceasta a fost o justificare suficientă pentru ipoteza lui Friedmann ca o aproximaţie grosieră a universului real. Dar mai recent un accident fericit a pus în evidenţă faptul că ipoteza lui Friedmann este de fapt o descriere remarcabil de precisă a universului nostru.

În 1965 doi fizicieni americani de la Bell Telephone Laboratories din New Jersey, Arno Penzias şi Robert Wilson, testau un detector foarte sensibil la microunde. (Microundele sunt exact ca undele de lumină, dar cu o frecvenţă de ordinul a numai zece miliarde de unde pe secundă.) Penzias şi Wilson au fost îngrijoraţi când au descoperit că detectorul lor capta mai mult zgomot decât ar fi trebuit. Zgomotul nu părea să vină dintr-o anumită direcţie. Mai întâi au descoperit dejecţii de păsări în detectorul lor şi au verificat şi alte posibile defecte în funcţionare, dar curând acestea au fost eliminate. Ei ştiau că orice zgomot din atmosferă era mai puternic atunci când detectorul nu era îndreptat în sus decât în cazul când era, deoarece razele de lumină parcurg o distanţă mai mare în atmosferă când sunt recepţionate din apropierea orizontului decât atunci când sunt recepţionate direct de sus. Zgomotul suplimentar era acelaşi indiferent de direcţia în care era îndreptat detectorul, astfel că el trebuia să provină din afara atmosferei. De asemenea, el era acelaşi ziua şi noaptea, în tot timpul anului, chiar dacă pământul se rotea în jurul axei sale şi se mişca pe orbită în jurul soarelui. Aceasta a arătat că radiaţia trebuie să vină de dincolo de sistemul solar şi chiar de dincolo de galaxie, deoarece altfel ar fi variat atunci când mişcarea pământului îndrepta detectorul în direcţii diferite. De fapt, ştim că radiaţia trebuie să fi călătorit spre noi prin cea mai mare parte a universului observabil, şi deoarece pare a fi aceeaşi în diferite direcţii, universul trebuie să fie, de asemenea, acelaşi în orice direcţie, cel puţin la scară mare.

Ştim acum că în orice direcţie privim, acest zgomot nu variază niciodată cu mai mult de unu la zece mii astfel că Penzias şi Wilson au nimerit fără să-şi dea seama peste o confirmare remarcabil de precisă a primei ipoteze a lui Friedmann.

Aproximativ în acelaşi timp doi fizicieni americani de la Universitatea Princeton, Bob Dicke şi Jim Peebles, erau interesaţi de microunde. Ei lucrau la o ipoteză, emisă de George Gamow (fost student al lui Alexander Friedmann), că universul timpuriu trebuie să fi fost fierbinte şi dens, incandescent. Dicke şi Peebles au argumentat că ar trebui să putem vedea încă strălucirea universului timpuriu, deoarece lumina unor părţi foarte îndepărtate ale sale ar ajunge la noi abia acum. Totuşi, expansiunea universului însemna că această lumină trebuia să fie atât de mult deplasată spre roşu încât ea ne-ar apărea ca radiaţie de microunde. Dicke şi Peebles se pregăteau să caute această radiaţie atunci când Penzias şi Wilson au auzit despre activitatea lor şi au realizat că ei o găsiseră deja. Pentru aceasta, Penzias şi Wilson au primit premiul Nobel în 1978 (ceea ce nu le-a prea convenit lui Dicke şi Peebles, ca să nu mai vorbim de Gamow!).

Acum, la prima vedere, această dovadă că universul arată acelaşi indiferent în ce direcţie privim ar părea să sugereze că există ceva special în ceea ce priveşte locul nostru în univers. Mai ales, ar părea că dacă observăm că toate celelalte galaxii se depărtează de noi; atunci noi trebuie să fim în centrul universului. Există, totuşi, o altă explicaţie; universul poate să arate la fel în orice direcţie şi văzut din oricare altă galaxie. Aceasta, aşa cum am văzut, a fost a doua ipoteză a lui Friedmann. Nu avem o dovadă ştiinţifică pentru sau împotriva acestei ipoteze. O credem datorită modestiei: ar fi fost cu totul extraordinar dacă universul ar fi arătat acelaşi în orice direcţie în jurul nostru, şi nu în jurul altor puncte din univers! În modelul lui Friedmann, toate galaxiile se depărtează una de alta. Situaţia se prezintă ca un balon cu mai multe pete pictate pe el care este umflat în mod constant. Când balonul se

umflă, distanţa dintre oricare două pete creşte, dar nu există o pată care să poată fi considerată centrul expansiunii. Mai mult, cu cât distanţa dintre pete este mai mare, cu atât mai repede se vor îndepărta una de alta. În mod asemănător, în modelul lui Friedmann viteza cu care se îndepărtează două galaxii este proporţională cu distanţa dintre ele. Astfel, el a prezis că deplasarea spre roşu a unei galaxii trebuie să fie direct proporţională cu distanţa la care se găseşte fată de noi, exact cum a descoperit Hubble. În ciuda succesului modelului său şi prezicerii observaţiilor lui Hubble, lucrarea lui Friedmann a rămas necunoscută în vest până când fizicianul american Arthur Walker a descoperit modele similare în 1935, ca răspuns la descoperirea lui Hubble a expansiunii uniforme a universului.

Deşi Friedmann nu a găsit decât unul, există, de fapt, trei tipuri diferite de modele care ascultă de cele două ipoteze fundamentale ale lui Friedmann. În primul tip (pe care l-a găsit Friedmann) universul se extinde suficient de încet încât atracţia gravitaţională dintre diferitele galaxii să provoace încetinirea şi în cele din urmă oprirea expansiunii. Atunci galaxiile încep să se mişte una spre cealaltă şi universul se contractă. Figura 3.2 arată modul în care se modifică cu timpul distanţa dintre două galaxii învecinate. Ea porneşte de la zero, creşte la o valoare maximă şi apoi descreşte din nou la zero. În al doilea tip de soluţie, expansiunea universului este atât de rapidă încât atracţia gravitaţională nu poate s-o oprească deşi o încetineşte puţin. Figura 3.3 prezintă distanţa dintre galaxiile învecinate, în acest model. Ea porneşte de la zero şi în cele din urmă galaxiile se îndepărtează cu viteză constantă. În sfârşit, există o a treia soluţie, în care expansiunea universului este exact atât de rapidă încât să evite colapsul. În acest caz, distanţa, prezentată în figura 3.4, porneşte, de asemenea, de la zero şi creşte mereu. Totuşi, viteza cu care se îndepărtează galaxiile devine din ce în ce mai mică, deci ea nu ajunge niciodată la zero.

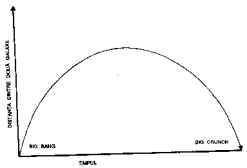


FIGURA 3.2

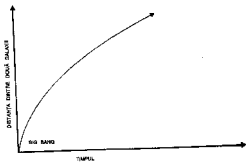


FIGURA 3.3

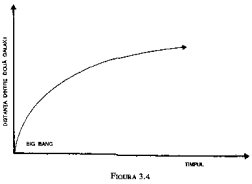


FIGURA 3.4

O caracteristică remarcabilă a primului tip al modelului lui Friedmann este că în el universul nu este infinit în spaţiu, dar totodată spaţiul nu are limite. Gravitaţia este atât de puternică încât spaţiul este curbat în el însuşi, făcându-l asemănător cu suprafaţa pământului. Dacă cineva călătoreşte într-o anumită direcţie pe suprafaţa pământului, niciodată nu ajunge la o barieră de netrecut sau nu cade peste margine, ci în cele din urmă se întoarce de unde a plecat. În primul model al lui Friedmann, spaţiul este la fel ca acesta, dar cu trei dimensiuni în loc de cele două de pe suprafaţa pământului. Cea de-a patra dimensiune, timpul, este de asemenea finită, dar este ca o linie cu două capete sau limite, un început şi un sfârşit. Vom vedea mai târziu că atunci când se combină relativitatea generalizată cu principiul de incertitudine din mecanica cuantică, este posibil ca atât spaţiul cât şi timpul să fie finite fără margini sau limite.

Ideea că cineva poate călători în jurul universului şi termina călătoria acolo unde a început-o este bună pentru literatura ştiinţifico-fantastică dar nu are mare

semnificaţie practică, deoarece se poate arăta că universul ar suferi un colaps către dimensiunea zero înainte ca cineva să-l străbată de jur-împrejur. Ar trebui să vă deplasaţi mai repede decât lumina pentru a încheia călătoria acolo unde aţi început-o înainte ca universul să ajungă la un sfârşit şi acest lucru nu este permis!

În primul tip al modelului lui Friedmann, în care suferă expansiunea şi colapsul, spaţiul este curbat în el însuşi, ca suprafaţa pământului. Prin urmare are o întindere finită. În al doilea tip de model, în care expansiunea este eternă, spaţiul este curbat altfel, ca suprafaţa unei şei. Astfel, în acest caz spaţiul este infinit. În sfârşit, în al treilea tip al modelului lui Friedmann, în care are exact rata critică de expansiune, spaţiul este plat (şi deci este de asemenea infinit).

Dar care model al lui Friedmann descrie universul nostru? îşi va opri universul în cele din urmă expansiunea şi va începe să se contracte sau se va extinde pentru totdeauna? Pentru a răspunde la această întrebare trebuie să cunoaştem rata actuală de expansiune a universului şi densitatea sa medie actuală. Dacă densitatea este mai mică încât o anumită valoare critică, determinată de rata de expansiune, atracţia gravitaţională va fi prea slabă pentru a opri expansiunea. Dacă densitatea este mai mare decât valoarea critică, gravitaţia va opri expansiunea la un anumit moment în viitor şi va determina colapsul universului.

Putem determina rata actuală de expansiune măsurând vitezele cu care celelalte galaxii se depărtează de noi, utilizând efectul Doppler. Aceasta se poate face foarte precis. Totuşi, distanţele până la galaxii nu sunt foarte bine cunoscute, deoarece nu le putem măsura decât indirect. Astfel, tot ceea ce ştim este că universul se extinde cu o valoare între 5 şi 10% la fiecare miliard de ani. Totuşi, incertitudinea asupra densităţii medii actuale prezente a universului este şi mai mare. Dacă adunăm masele tuturor stelelor pe care le putem vedea din galaxia noastră şi alte galaxii, totalul este mai mic decât o sutime

din cantitatea necesară pentru a opri expansiunea universului, chiar pentru estimarea cea mai scăzută a ratei de expansiune. Totuşi, galaxia noastră şi alte galaxii trebuie să conţină o mare cantitate de „materie neagră” pe care nu o putem vedea direct, dar despre care ştim că trebuie să fie acolo datorită influenţei atracţiei staţionale asupra orbitelor stelelor din galaxie. Mai mult, majoritatea galaxiilor formează roiuri şi putem deduce în mod asemănător prezenţa unei cantităţi mai mari de materie neagră între galaxiile din aceste roiuri prin efectul său asupra mişcării galaxiilor. Atunci când adunăm toată această materie neagră, obţinem doar circa o zecime din cantitatea necesară pentru a opri expansiunea. Totuşi, nu putem exclude posibilitatea că ar putea exista o altă formă a materiei, distribuită aproape uniform în univers, pe care nu am detectat-o încă şi care poate mări densitatea medie a universului până la valoarea critică necesară pentru a opri expansiunea. Prin urmare, dovezile actuale sugerează că universul se va extinde probabil la nesfârşit dar nu putem fi siguri decât de faptul că şi în cazul în care se va produce colapsul universului, aceasta nu se va întâmpla cel puţin încă alte zece miliarde de ani, deoarece universul s-a extins deja cel puţin pe această durată. Acest lucru nu trebuie să ne îngrijoreze nejustificat; la acel moment, dacă nu am făcut colonii dincolo de sistemul solar, omenirea va fi murit de mult, stinsă odată cu soarele nostru!

Toate soluţiile lui Friedmann au caracteristic faptul că la un anumit moment în trecut (acum zece – douăzeci miliarde de ani) distanţa dintre galaxiile învecinate trebuie să fi fost zero. În acel moment, pe care noi îl numim Big Bang, densitatea universului şi curbura spaţiu-timpului ar fi fost infinite. Deoarece matematica nu poate trata realmente cu numere infinite, aceasta înseamnă că teoria generală a relativităţii (pe care se bazează soluţiile lui Friedmann) prezice că există un punct în univers unde teoria însăşi nu mai funcţionează. Un astfel de punct este un exemplu de ceea ce matematicienii numesc o singularitate. De fapt, toate teoriile noastre ştiinţifice sunt

bazate pe ipoteza că spaţiu-timpul este neted şi aproape plat, astfel că ele nu funcţionează la singularitatea Big Bang-ului, unde curbura spaţiului este infinită. Aceasta înseamnă că şi dacă ar fi existat evenimente înainte de Big Bang, ele nu ar putea fi utilizate pentru a determina ce s-ar fi întâmplat după aceea, deoarece capacitatea de predicţie ar fi încetat la Big Bang. În mod asemănător, dacă aşa cum este cazul cunoaştem numai ceea ce s-a întâmplat de la Big Bang, nu am putea să determinăm ce s-a întâmplat înainte. În ceea ce ne priveşte, evenimentele dinainte de Big Bang nu pot avea consecinţe, astfel că ele nu trebuie să formeze o parte a unui model ştiinţific al universului. Prin urmare trebuie să le eliminăm din model şi să spunem că timpul are un început la Big Bang.

Multă lume nu agreează ideea că timpul are un început, probabil deoarece aduce a intervenţie divină. (Biserica Catolică, pe de altă parte, a pus mâna pe modelul Big Bang şi în 1951 a declarat oficial că este în conformitate cu Biblia.) Prin urmare, au fost mai multe

Încercări de evitare a concluziei că a existat un Big Bang. Propunerea care a câştigat sprijinul cel mai larg s-a numit teoria stării staţionare. Ea a fost sugerată în 1948 de doi refugiaţi din Austria ocupată de nazişti, Hermann Bondi şi Thomas Gold, împreună cu un englez, Fred Hoyle, care a lucrat cu ei la perfecţionarea radarului în timpul războiului. Ideea era că atunci când galaxiile se depărtează una de alta, în golurile dintre ele se formează continuu noi galaxii. Deci universul ar arăta aproximativ la fel tot timpul, cât şi în toate punctele din spaţiu. Teoria stării staţionare cerea o modificare a relativităţii generalizate pentru a permite crearea continuă de materie, dar rata implicată era atât de mică (de circa o particulă pe kilometru cub pe an) încât nu era în conflict cu experimentul. Teoria era o teorie ştiinţifică bună, în sensul descris în capitolul 1; ea era simplă şi făcea preziceri clare care puteau fi testate prin observaţii. Una dintre aceste preziceri e că numărul de galaxii sau obiecte similare în orice volum dat al spaţiului trebuie să fie acelaşi oriunde

sau oricând privim în univers. La sfârşitul anilor ’50 şi începutul anilor ’60, un grup de astronomi condus de Martin Ryle (care a lucrat şi cu Bondi, Gold şi Hoyle la radar în timpul războiului), la Cambridge, a efectuat o cercetare a surselor de unde radio din spaţiul cosmic. Grupul de la Cambridge a arătat că majoritatea surselor radio trebuie să se găsească în afara galaxiei noastre (într-adevăr, multe din ele pot fi identificate cu alte galaxii) şi că existau mai multe surse slabe decât cele puternice. Ei au interpretat sursele slabe ca fiind cele mai îndepărtate şi pe cele mai puternice ca fiind mai apropiate. Apoi păreau să fie mai puţine surse obişnuite pe unitatea de volum al spaţiului pentru sursele apropiate decât pentru cele îndepărtate. Aceasta ar putea însemna că noi suntem în centrul unei mari regiuni din univers în care sursele sunt mai puţine decât în altă parte.

O altă interpretare presupune că sursele au fost mai numeroase în trecut, în momentul în care undele radio le-au părăsit pornind spre noi, decât sunt acum. Ambele explicaţii contraziceau predicţiile teoriei stării staţionare. Mai mult, descoperirea radiaţiei de microunde făcută de Penzias şi Wilson în 1965 a indicat, de asemenea, că universul trebuie să fi fost mult mai dens în trecut. Prin urmare, teoria stării staţionare a trebuit să fie abandonată.

O altă încercare de a evita concluzia că trebuie să fi existat un Big Bang, şi deci un început al timpului, a fost făcută de doi oameni de ştiinţă ruşi, Evgheni Lifshitz şi Isaac Khalatnikov, în 1963. Ei sugerau că Big Bang-ul putea fi o particularitate doar a modelelor lui Friedmann, care la urma urmelor erau numai aproximaţii ale universului real. Poate că, din toate modelele care erau aproximativ ca universul real, numai cel al lui Friedmann ar conţine o singularitate Big Bang. În modelele lui Friedmann, toate galaxiile se depărtează direct una de cealaltă astfel, nu este surprinzător că la un anumit moment din trecut toate se găseau în acelaşi loc. În universul real, totuşi, galaxiile nu se îndepărtează direct una de alta ele au de asemenea mici viteze transversale.

Astfel, în realitate nu a fost nevoie să fie toate exact în acelaşi loc, ci numai foarte aproape una de alta. Poate că atunci universul actual în expansiune a rezultat nu dintr-o singularitate Big Bang ci dintr-o fază anterioară de contracţie; când s-a produs colapsul universului se putea ca nu toate particulele să se ciocnească, ci au trecut una pe lângă alta şi apoi s-au îndepărtat, producând expansiunea actuală a universului. Atunci cum putem spune dacă universul real a început cu un Big Bang? Ceea ce au făcut Lifshitz şi Khalatnikov a fost să studieze modele ale universului care erau aproximativ ca modelele lui Friedmann dar luau în consideraţie neregularităţile şi vitezele întâmplătoare ale galaxiilor din universul real. Ei au arătat că astfel de modele pot începe cu un Big Bang, chiar dacă galaxiile nu se mai îndepărtează întotdeauna direct una de alta, dar susţineau că acest lucru ar fi posibil numai în anumite modele excepţionale în care galaxiile se mişcau toate în linie dreaptă.

Ei argumentau că deoarece păreau să existe infinit mai multe modele tip Friedmann fără o singularitate Big Bang decât cele care aveau una, trebuie să conchidem că în realitate nu a fost un Big Bang. Ulterior ei au realizat, totuşi, că există o clasă mult mai generală de modele tip Friedmann care aveau singularităţi şi în care galaxiile nu trebuiau să se mişte într-un fel special. De aceea, în 1970, şi-au retras propunerea.

Lucrarea lui Lifshitz şi Khalatnikov a fost valoroasă deoarece a arătat că universul ar fi putut avea o singularitate, un Big Bang, dacă teoria generală a relativităţii era corectă. Totuşi, ea nu a rezolvat problema crucială: Relativitatea generalizată prezice că universul nostru ar fi trebuit să aibă un Big Bang, un început al timpului? Răspunsul a venit dintr-o abordare complet diferită introdusă de un matematician şi fizician britanic, Roger Penrose, în 1965. Utilizând modul în care conurile de lumină se comportă în relativitatea generalizată împreună cu faptul că gravitaţia este întotdeauna o forţă de atracţie, el a arătat că o stea care suferă un colaps

datorită propriei gravitaţii este prinsă într-o regiune a cărei suprafaţă se reduce la dimensiunea zero. şi deoarece suprafaţa regiunii se reduce la zero, aşa trebuie să se întâmple şi cu volumul său. Toată materia din stea va fi comprimată într-o regiune cu volum zero, astfel că densitatea materiei şi curbura spaţiu-timpului devin infinite. Cu alte cuvinte, există o singularitate conţinută într-o regiune a spaţiu-timpului numită gaură neagră.

La prima vedere, rezultatul lui Penrose se aplică numai stelelor; el nu avea nimic de spus despre întrebarea dacă întregul univers a avut o singularitate Big Bang în trecutul său. Totuşi, în vremea în care Penrose şi-a elaborat teorema, eu lucram în cercetare ca student şi căutam cu disperare o problemă pentru a-mi elabora teza de doctorat. Cu doi ani înainte mi se pusese diagnosticul de ALS, cunoscut în mod obişnuit ca boala lui Lou Gehrig, sau boala neuro-motorie şi mi se dăduse de înţeles că mai am numai unul sau doi ani de trăit. În aceste împrejurări, lucrul la teza de doctorat nu părea de mare importanţă nu mă aşteptam să supravieţuiesc atât de mult. Şi totuşi trecuseră doi ani şi nu eram mult mai rău. De fapt, lucrurile mergeau mai bine pentru mine şi mă logodisem cu o fată foarte drăguţă, Jane Wilde. Dar pentru a mă căsători, aveam nevoie de un serviciu, aveam nevoie de un doctorat.

În 1965 am citit despre teorema lui Penrose care arăta că orice corp care suferea un colaps gravitaţional trebuie să formeze în cele din urmă o singularitate. Am realizat curând că dacă în teorema lui Penrose se inversează direcţia timpului astfel încât colapsul să devină o expansiune, condiţiile teoremei sale ar fi încă valabile, cu condiţia ca în momentul actual universul să fie aproximativ ca un model Friedmann la scară mare. Teorema lui Penrose a arătat că orice stea care suferă un colaps trebuie să sfârşească într-o singularitate; argumentul timpului inversat a arătat că orice univers în expansiune tip Friedmann trebuie să înceapă cu o singularitate. Din motive tehnice, teorema lui Penrose cerea ca universul să

fie infinit în spaţiu. Astfel, am putut de fapt să o utilizez pentru a dovedi că trebuie să fie o singularitate numai dacă universul se extindea destul de repede pentru a evita colapsul din nou (deoarece numai acele modele Friedmann erau infinite în spaţiu).

În următorii câţiva ani am elaborat noi tehnici matematice pentru a elimina aceasta şi alte condiţii tehnice din teoremele care dovedeau că singularităţile trebuie să se producă. Rezultatul final a fost o lucrare în colaborare a lui Penrose şi a mea în 1970, care a demonstrat în cele din urmă că ar fi trebuit să existe un Big Bang numai dacă relativitatea generalizată era corectă şi universul conţine atâta materie câtă observăm. Au existat mai multe critici la această lucrare, pe de o parte din partea ruşilor, din cauza credinţei lor marxiste în determinismul ştiinţific şi pe de altă parte din partea unor oameni care simţeau că întreaga idee a singularităţilor era respingătoare fi strica frumuseţea teoriei lui Einstein. Totuşi, în realitate nu se poate pune la îndoială o teoremă matematică. Astfel că în cele din urmă lucrarea noastră a fost general acceptată fi astăzi aproape toată lumea consideră că universul a început cu o singularitate Big Bang. Poate că este o ironie că, schimbându-mi părerea, acum încerc să conving alţi fizicieni că de fapt la începutul universului nu a existat o singularitate aşa cum vom vedea mai târziu, ea poate dispărea o dată ce sunt luate în considerare efectele cuantice.

În acest capitol am văzut cum s-a transformat, în mai puţin de jumătate de secol, imaginea omului despre univers, formată în milenii. Descoperirea lui Hubble că universul era în expansiune fi realizarea lipsei de importanţă a propriei noastre planete în vastitatea universului au fost doar punctul de plecare. Pe măsură ce s-au adunat dovezi experimentale şi teoretice, a devenit din ce în ce mai clar că universul trebuie să fi avut un început în timp, până ce în 1970 acest lucru a fost dovedit de Penrose împreună cu mine, pe baza teoriei generale a relativităţii a lui Einstein. Demonstraţia a arătat că

relativitatea generalizată este doar o teorie incompletă: ea nu ne poate spune cum a început universul, deoarece ea prezice că toate teoriile fizice, inclusiv ea însăşi, nu mai funcţionează la începutul universului. Totuşi, relativitatea generalizată pretinde a fi numai o teorie parţială, astfel că ceea ce arată în realitate teoremele singularităţilor este că trebuie să fi fost un timp în universul foarte timpuriu când universul era atât de mic, încât nu se mai pot ignora efectele la scară mică ale celeilalte mari teorii parţiale a secolului douăzeci, mecanica cuantică. La începutul anilor 1970, deci, eram forţaţi să ne îndreptăm cercetările pentru înţelegerea universului de la teoria noastră asupra infinitului mare la teoria noastră asupra infinitului mic. Acea teorie, mecanica cuantică, va fi descrisă în cele ce urmează, înainte de a ne îndrepta eforturile către combinarea celor două teorii parţiale într-o singură teorie cuantică a gravitaţiei.

4. Principiul de incertitudine

Succesul teoriilor ştiinţifice, în special al teoriei gravitaţiei a lui Newton, a condus pe savantul francez marchizul de Laplace, la începutul secolului al nouăsprezecelea, să considere că universul era complet determinist. Laplace a sugerat că ar trebui să existe un set de legi ştiinţifice care ne-ar permite să prezicem orice s-ar întâmpla în univers, numai dacă am cunoaşte starea completă a universului la un moment dat. De exemplu, dacă ştim poziţiile şi vitezele soarelui şi planetelor la un anumit moment, atunci putem utiliza legile lui Newton pentru a calcula starea Sistemului Solar în oricare alt moment. Determinismul pare destul de evident în acest caz, dar Laplace a mers şi mai departe presupunând că existau legi similare care guvernează orice altceva, inclusiv comportamentul uman.

Doctrina determinismului ştiinţific a fost respinsă de mulţi oameni care simţeau că aceasta încalcă libertatea lui Dumnezeu de a interveni asupra lumii, dar ea a rămas

ipoteza clasică a ştiinţei până în primii ani ai acestui secol. Una din primele indicaţii că această ipoteză ar trebui abandonată a apărut atunci când calculele savanţilor britanici Lord Rayleigh şi Sir James Jeans au sugerat că un obiect fierbinte, sau un corp, cum ar fi o stea, trebuie să radieze energie în cantitate infinită. Conform legilor în care credeam în acea vreme, un corp fierbinte trebuia să emită unde electromagnetice (cum sunt undele radio, lumina vizibilă sau razele X) în mod egal, la toate frecvenţele. De exemplu, un corp fierbinte ar trebui să radieze aceeaşi cantitate de energie în unde cu frecvenţele între unu şi două milioane de milioane de unde pe secundă, ca şi în unde cu frecvenţe între două şi trei milioane de milioane de unde pe secundă. Dar, deoarece numărul de unde pe secundă este nelimitat, aceasta ar însemna că energia totală radiată ar fi infinită.

Pentru a evita acest rezultat evident ridicol, savantul german Max Planck a sugerat, în 1900, că lumina, razele X şi alte unde nu pot fi emise într-o cantitate arbitrară, ci numai în anumite pachete pe care le-a numit cuante. Mai mult, fiecare cuantă are o anumită cantitate de energie care este cu atât mai mare cu cât este mai mare frecvenţa undelor, astfel că la o frecvenţă destul de înaltă, emisia unei singure cuante ar cere mai multă energie decât era disponibilă. Astfel, radiaţia la frecvenţe înalte ar fi redusă, şi deci cantitatea de energie radiată de corp ar fi finită.

Ipoteza cuantică a explicat foarte bine valoarea observată a emisiei radiaţiei corpurilor fierbinţi, dar implicaţiile sale pentru determinism nu au fost înţelese până în 1926, când un alt savant german, Werner Heisenberg, a formulat faimosul său principiu de incertitudine. Pentru a prezice poziţia şi viteza viitoare ale unei particule, trebuie să i se poată măsura precis poziţia şi viteza actuale. Calea evidentă pentru a face acest lucru era să se trimită lumină pe particulă. Unele dintre undele de lumină vor fi împrăştiate de particulă şi aceasta va indica poziţia sa. Totuşi, poziţia particulei nu se va putea determina mai precis decât distanţa dintre maximele undei

de lumină, astfel că pentru a măsura precis poziţia particulei, este necesar să se utilizeze lumină cu lungime de undă mică. Dar, conform ipotezei cuantice a lui Planck, nu se poate utiliza o cantitate arbitrar de mică de lumină ci trebuie să se utilizeze cel puţin o cuantă. Această cuantă va perturba particula şi-i va modifica viteza într-un mod care nu poate fi prezis. Mai mult, cu cât se măsoară mai precis poziţia, cu atât este mai scurtă lungimea de undă a luminii necesare şi deci cu atât este mai mare energia unei singure cuante. Astfel, viteza particulei va fi perturbată cu o cantitate mai mare. Cu alte cuvinte, cu cât încercaţi să măsuraţi mai precis poziţia particulei, cu atât mai puţin precis şi puteţi măsura viteza şi viceversa. Heisenberg a arătat că incertitudinea poziţiei particulei înmulţită cu incertitudinea vitezei sale înmulţită cu masa particulei nu poate fi niciodată mai mică decât o anumită cantitate numita constanta lui Planck. Mai mult, această limită nu depinde de modul în care se încearcă măsurarea poziţiei sau vitezei particulei, sau de tipul particulei: principiul de incertitudine al lui Heisenberg este o proprietate fundamentală, inevitabilă a lumii.

Principiul de incertitudine a avut implicaţii profunde pentru modul în care vedem lumea. Chiar după mai mult de cincizeci de ani ele nu au fost complet înţelese de mulţi filosofi şi sunt încă subiectul multor controverse. Principiul de incertitudine a semnalat sfârşitul visului lui Laplace despre o teorie a ştiinţei, un model al universului care ar fi complet determinist: desigur, nu se pot prezice precis evenimente viitoare dacă nu se poate măsura precis starea actuală a universului! Ne putem încă imagina că există un set de legi care determină complet evenimentele pentru unele fiinţe supranaturale, care ar putea observa starea actuală a universului fără să o perturbe. Totuşi, astfel de modele ale universului nu prea ne interesează pe noi, muritorii obişnuiţi. Se pare că este mai bine să se utilizeze principiul economiei cunoscut drept briciul lui Occam, şi să se elimine toate aspectele teoriei care nu pot fi observate. Această abordare i-a condus pe Heisenberg,

Erwin Schrödinger şi Paul Dirac în anii 1920 să reformuleze mecanica într-o nouă teorie numită mecanica cuantică, bazată pe principiul de incertitudine. În această teorie, particulele nu mai aveau viteze şi poziţii separate, bine definite, care nu ar putea fi observate. În schimb, ele aveau o stare cuantică, care era o combinaţie a poziţiei şi vitezei.

În general, mecanica cuantică nu prezice un singur rezultat clar pentru o observaţie. În schimb, ea prezice mai multe rezultate diferite posibile şi ne spune cât de probabil este fiecare dintre ele. Aceasta înseamnă că, dacă cineva face aceeaşi măsurare pe un număr mare de sisteme similare, fiecare începând în acelaşi fel, ar vedea că rezultatul măsurării ar fi A într-un anumit număr de cazuri, B în alt număr de cazuri ş.a.m.d. S-ar putea prezice numărul corespunzător de ori în care rezultatul ar fi A sau B, dar nu s-ar putea prezice rezultatul specific al unei singure măsurări. Prin urmare, mecanica cuantică introduce în ştiinţă. un element inevitabil de imprevizibilitate sau întâmplare. Einstein a obiectat foarte puternic la aceasta, în ciuda rolului important pe care l-a jucat în dezvoltarea acestor idei. Einstein a primit premiul Nobel pentru contribuţia sa la teoria cuantică. Cu toate acestea, Einstein nu a acceptat niciodată ideea că universul era guvernat de întâmplare; sentimentele sale au fost exprimate în faimoasa sa afirmaţie „Dumnezeu nu joacă zaruri”. Totuşi, majoritatea celorlalţi savanţi erau dispuşi să accepte mecanica cuantică deoarece era în perfectă concordanţă cu experimentul. Într-adevăr, a fost o teorie remarcabil de reuşită şi ea stă la baza aproape a întregii ştiinţe şi tehnologii moderne. Ea guvernează comportarea tranzistorilor şi circuitelor integrate care sunt componentele esenţiale ale unor aparate electronice cum sunt televizoarele şi computerele şi reprezintă, de asemenea, baza chimiei şi biologiei moderne. Singurele domenii din fizică în care mecanica cuantică nu a fost încorporată sunt gravitaţia şi structura la scară mare a universului.

Deşi lumina este formată din unde, ipoteza cuantică a lui Planck ne spune că în unele cazuri ea se comportă ca şi când ar fi compusă din particule: ea poate fi emisă sau absorbită numai în pachete sau cuante. De asemenea, principiul de incertitudine al lui Heisenberg implică faptul că particulele se comportă în anumite privinţe ca nişte unde: ele nu au o poziţie definită dar sunt „răspândite" cu o anumită probabilitate de distribuţie. Teoria mecanicii cuantice se bazează pe un tip de matematică complet nou, care nu mai descrie lumea reală în termeni de particule şi unde; ea reprezintă numai observaţii ale lumii care pot fi descrise prin aceşti termeni. Există astfel în mecanica cuantică un dualism între unde şi particule: pentru unele scopuri este util să se considere particulele drept unde şi pentru alte scopuri este mai bine să se considere undele drept particule. O consecinţă importantă a acestui fapt este că se poate observa ceea ce se numeşte interferenţa dintre două seturi de unde sau particule. Cu alte cuvinte, maximele unui set de unde pot coincide cu minimele celuilalt set. Atunci cele două seturi de unde se anulează reciproc, în loc să se adune într-o undă mai puternică, aşa cum ar fi de aşteptat (fig. 4.1). Un exemplu familiar de interferenţă în cazul luminii îl reprezintă culorile care se văd adesea în baloanele de săpun. Acestea sunt cauzate de reflexia luminii pe cele două feţe ale peliculei subţiri de apă care formează balonul. Lumina albă constă din unde cu lungimi de undă diferite sau culori diferite. Pentru anumite lungimi de undă maximele undelor reflectate pe o parte a peliculei de săpun coincid cu minimele reflectate pe cealaltă parte. Culorile care corespund acestor lungimi de undă lipsesc din lumina reflectată, care apare deci colorată.

Interferenţa se poate produce şi pentru particule datorită dualismului introdus de mecanica cuantică. Un exemplu faimos este experimentul celor două fante (fig. 4.2). Considerăm un perete despărţitor care are două fante înguste tăiate în el. Pe de o parte a peretelui se plasează o sursă de lumină cu o anumită culoare (adică, cu o anumită

lungime de undă). Majoritatea luminii va lovi peretele, dar o cantitate mică va trece prin fante. Presupunem acum că de partea cealaltă a peretelui despărţitor, cea opusă luminii, se plasează un ecran. Orice punct de pe ecran va primi unde de la cele două fante. Totuşi, în general, distanţa pe care trebuie să o parcurgă lumina de la sursă la ecran prin cele două fante va fi diferită. Aceasta va însemna că undele care vin de la cele două fante nu vor fi în fază atunci când ajung la ecran: în unele locuri undele se vor anula reciproc şi în altele se vor întări reciproc. Rezultatul este un model caracteristic de franje de lumină şi întuneric.

Un lucru remarcabil este că se obţine exact acelaşi fel de franje dacă se înlocuieşte sursa de lumină cu o sursă de particule cum sunt electronii cu o viteză determinată (aceasta înseamnă că undele corespunzătoare au o lungime determinată). Acest lucru pare şi mai ciudat pentru că dacă există numai o fantă, pe ecran nu se obţin franje, ci doar o distribuţie uniformă de electroni. Se poate crede deci că deschiderea unei alte fante ar mări numărul de electroni care lovesc fiecare punct de pe ecran, dar în realitate, în unele locuri din cauza interferenţei numărul electronilor descreşte. Dacă electronii sunt trimişi prin fante unul câte unul, ar fi de aşteptat ca fiecare să treacă printr-o fantă sau alta şi deci să se comporte exact ca şi când fanta prin care trec ar fi singura acolo când o distribuţie uniformă pe ecran. În realitate însă, chiar dacă electronii sunt trimişi unul câte unul, franjele tot apar. Prin urmare, fiecare electron trebuie să: treacă prin ambele fante în acelaşi timp!

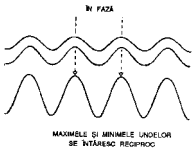


FIGURA 4.1

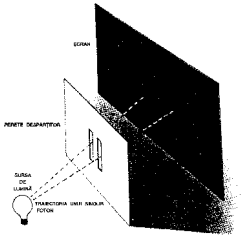


FIGURA 4.2

Fenomenul de interferenţă între particule a fost crucial pentru înţelegerea structurii atomilor, unităţile de bază în chimie şi biologie şi cărămizile din care suntem făcuţi noi şi tot ce este în jurul nostru. La începutul acestui secol se credea că atomii erau ca planetele care se deplasează pe orbite în jurul soarelui, cu electronii (particule de electricitate negativă) mişcându-se pe orbite în jurul unui nucleu central, care posedă electricitate pozitivă. Se presupunea că atracţia dintre electricitatea pozitivă şi cea negativă ţine electronii pe orbitele lor în acelaşi fel în care atracţia gravitaţională dintre soare şi planete ţine planetele pe orbitele lor. Problema existentă aici era că, înainte de mecanica cuantică, legile mecanicii şi electricităţii preziceau că electronii ar pierde energie şi deci s-ar deplasa pe o spirală din ce în ce mai mică până ce s-ar ciocni cu nucleul. Aceasta ar însemna că atomul, şi deci toată materia, trebuie să sufere rapid un colaps către o stare cu densitate foarte mare. O soluţie parţială a acestei probleme a fost găsită de savantul danez Niels Bohr în 1913. El a sugerat că poate electronii nu se pot

deplasa pe orbite la orice distanţă de nucleul central, ci numai la anumite distanţe specificate. Dacă se mai presupune că pe oricare din aceste orbite se pot mişca numai unul sau doi electroni, aceasta ar rezolva problema colapsului atomului, deoarece electronii nu s-ar putea mişca în spirală mai mult decât penáu a umple orbitele cu distanţele şi energiile cele mai mici.

Acest model a explicat destul de bine structura celui mai simplu atom, hidrogenul, care are numai un singur electron ce se mişcă pe orbită în jurul nucleului. Dar nu era clar cum ar trebui să fie extins la atomi mai complicaţi. În plus, ideea unui set limitat de orbite permise părea foarte arbitrară. Noua teorie a mecanicii cuantice a rezolvat această dificultate. Ea a arătat că un electron care se mişcă pe orbită în jurul nucleului poate fi considerat ca o undă, cu o lungime de undă care depinde de viteza sa. Pentru anumite orbite, lungimea orbitei ar corespunde unui număr întreg (în opoziţie cu un număr fracţionar) de lungimi de undă ale electronului. Pentru aceste orbite maximul undei ar fi în aceeaşi poziţie de fiecare dată când şi face o rotaţie completă, astfel că undele s-ar aduna: aceste orbite ar corespunde orbitelor permise ale lui Bohr. Totuşi, pentru orbitele a căror lungime nu reprezintă un număr întreg de lungimi de undă, fiecare maxim al undei ar fi anulat în cele din urmă de un minim atunci când se face o rotaţie; aceste orbite nu ar fi permise.

Un mod agreabil de vizualizare a dualismului undă/particulă este aşa-numita sumă a istoriilor introdusă de savantul american Richard Feynman. În această abordare se presupune că particula nu are o singură istorie sau traiectorie în spaţiu-timp aşa cum ar fi într-o teorie clasică, necuantică. În schimb, se presupune că trece de la A la B prin fiecare traiectorie posibilă. Fiecărei traiectorii îi sunt asociate două numere: unul reprezintă dimensiunea undei şi celălalt reprezintă poziţia în ciclu (adică, dacă este un maxim sau un minim). Probabilitatea de trecere de la A la B se găseşte adunând undele pentru toate traiectoriile. În general, dacă se compară un set de

traiectorii învecinate, fazele sau poziţiile în ciclu vor diferi considerabil. Aceasta înseamnă că undele asociate acestor traiectorii se vor anula aproape exact una pe alta. Totuşi, pentru unele seturi de traiectorii învecinate faza nu va varia mult de la o traiectorie la alta. Pentru aceste traiectorii undele nu se vor anula. Aceste traiectorii corespund orbitelor permise ale lui Bohr.

Cu aceste idei, în formă matematică concretă, a fost relativ simplu să se calculeze orbitele permise în atomii mai complicaţi şi chiar în molecule, care sunt formate din mai mulţi atomi menţinuţi împreună de electronii care se mişcă în jurul mai multor nuclee. Deoarece structura moleculelor şi reacţiile lor reciproce stau la baza chimiei şi biologiei, mecanica cuantică ne permite, în principiu, să prezicem aproape tot ce vedem în jurul nostru, în limitele determinate de principiul de incertitudine. (În practică, însă, calculele necesare pentru sisteme cu mai mult de câţiva electroni sunt atât de complicate încât nu le putem efectua.)

Teoria generală a relativităţii a lui Einstein pare să guverneze structura la scară mare a universului. Ea este ceea ce se numeşte o teorie clasică; adică ea nu ia în considerare principiul de incertitudine din mecanica cuantică, aşa cum ar trebui pentru a fi compatibilă cu alte teorii. Aceasta nu conduce la discrepanţe cu observaţia, deoarece toate câmpurile gravitaţionale pe care le simţim sunt foarte slabe. Totuşi, teoremele singularităţilor discutate anterior arată că există cel puţin două situaţii în care câmpul gravitaţional trebuie să fie foarte puternic: găurile negre şi Big Bang-ul. În aceste câmpuri puternice, efectele mecanicii cuantice trebuie să fie importante. Astfel, într-un fel, relativitatea generalizată clasică, prezicând puncte cu densitate infinită, prezice propria sa dispariţie, la fel cum mecanica clasică (adică necuantică) şi-a prezis dispariţia sugerând că atomii trebuie să sufere un colaps spre o densitate infinită. Nu avem încă o teorie completă, solidă care să unifice relativitatea generalizată şi mecanica cuantică, dar cunoaştem mai multe

caracteristici pe care trebuie să le aibă. Consecinţele pe care acestea le-ar avea asupra găurilor negre şi Big Bang-ului vor fi descrise în capitolele următoare. Pentru moment, totuşi, ne vom întoarce la încercările recente de a reuni cunoştinţele noastre asupra celorlalte forţe ale naturii într-o singură teorie cuantică unificată.

5. Particulele elementare şi forţele naturii

Aristotel credea că toată materia din univers era formată din patru elemente de bază: pământ, aer, foc şi apă. Asupra acestor elemente acţionau două forţe: gravitaţia, tendinţa pământului şi apei de a cădea şi levitaţia, tendinţa aerului şi focului de a se înălţa. Divizarea conţinutului universului în materie şi forţe se mai utilizează şi astăzi.

Aristotel credea că materia era continuă, adică, o bucată de materie se poate diviza în bucăţi din ce în ce mai mici fără limită: niciodată nu se poate ajunge la un grăunte de materie care să nu mai poată fi divizat. Totuşi, câţiva greci, ca Democrit, susţineau că materia era în mod firesc granulară şi că totul era format dintr-un număr mare de atomi de diferite tipuri. (Cuvântul atom înseamnă în greceşte „indivizibil”.) Secole întregi discuţia a continuat fără o dovadă reală de-o parte sau de alta, dar în 1803 chimistul şi fizicianul britanic John Dalton a explicat combinarea compuşilor chimici întotdeauna în anumite proporţii prin gruparea atomilor în unităţi numite molecule. Totuşi, discuţia între cele două şcoli nu s-a rezolvat în favoarea atomiştilor până în primii ani ai acestui secol. Una dintre dovezile fizice importante a fost furnizată de Einstein. Într-o lucrare scrisă în 1905, cu câteva săptămâni înainte de faimoasa lucrare asupra relativităţii speciale, Einstein a arătat că ceea ce se numea mişcarea browniană mişcarea neregulată, întâmplătoare a unor particule mici de praf suspendate într-un lichid se putea explica prin efectul ciocnirilor atomilor de lichid cu particulele de praf.

În acel moment existau deja suspiciuni că aceşti atomi nu ar fi, totuşi, indivizibili. Cu câţiva ani înainte, un membru al Trinity College, Cambridge, J.J. Thomson, demonstrase existenţa unei particule de materie numită electron, care avea o masă mai mică decât o miime din masa atomului cel mai uşor. El a utilizat o instalaţie asemănătoare cu un tub modern de televizor: un filament incandescent emitea electroni şi deoarece aceştia au o sarcină electrică negativă, se poate utiliza un câmp electric pentru a-i accelera către un ecran acoperit cu fosfor. Atunci când ei loveau ecranul, apăreau scânteieri. Curând s-a realizat că aceşti electroni trebuie să provină din atomi şi în cele din urmă, în 1911, fizicianul britanic Ernest Rutherford a arătat că, într-adevăr, atomii de materie au o structură internă: ei sunt formaţi dintr-un nucleu extrem de mic, încărcat pozitiv, în jurul căruia se mişcă pe orbită mai mulţi electroni. El a dedus aceasta din analiza modului în care sunt deviate particulele a, care sunt particule încărcate pozitiv, emise de atomi radioactivi, atunci când se ciocnesc cu atomii.

La început s-a considerat că nucleul atomului era format din electroni şi mai multe particule încărcate pozitiv, numite protoni, de la cuvântul grec care însemna „primul”, deoarece se credea că este unitatea fundamentală din care era făcută materia. Totuşi, în 1932, un coleg al lui Rutherford de la Cambridge, James Chadwick, a descoperit că nucleul conţinea o altă particulă, numită neutron, care avea aproape aceeaşi masă ca şi protonul, dar nu avea sarcină electrică. Chadwick a primit premiul Nobel pentru descoperirea sa şi a fost ales profesor la Gonville and Caius Collège, Cambridge (colegiul în care eu fac parte acum din comitetul de conducere). Mai târziu el şi-a dat demisia din postul de profesor datorită neînţelegerilor cu colegii săi. Au fost discuţii aprinse în colegiu de când un grup de membri tineri care s-au întors după război au votat scoaterea membrilor mai în vârstă din funcţii pe care le deţineau de mult timp în colegiu. Aceasta a fost înainte de a veni eu; eu

am venit la colegiu în 1965, la sfârşitul discuţiilor, când dezacorduri similare l-au forţat să demisioneze pe un alt profesor deţinător al premiului Nobel, Sir Nevill Mott.

Până acum circa douăzeci de ani s-a crezut că protonii şi neutronii erau particulele „elementare”, dar experimentele în care protonii se ciocneau cu alţi protoni său; electroni cu viteză mare arătau că ei erau formaţi, de fapt, din particule mai mici. Aceste particule au fost numite quarci de Murray Gell-Mann, fizician la Institutul Tehnologic din California, care a câştigat premiul; Nobel în 1969 pentru lucrările sale asupra acestora. (Originea numelui este un citat enigmatic din James Joyce: „Three quarks for Muster Mark!”. Se presupune că cuvântul quark se pronunţa ca şi quart dar cu un k la sfârşit în loc de t, pronunţându-se de obicei astfel încât să rimeze cu lark.)

Există mai multe varietăţi de quarci: se crede că există cel puţine şase „arome” pe care le numim sus (up), jos (down), straniu (strânge), fermecat (charmed), bază (bottom) şi vârf (top). Fiecare aromă apare în trei „culori”: roşu, verde şi albastru. (Trebuie subliniat că aceşti termeni sunt doar denumiri: quarcii sunt mult mai mici decât lungimea de undă a luminii vizibile şi deci ei nu au o culoare în sensul propriu al cuvântului. Rezultă că fizicienii moderni par să aibă moduri mai imaginative de numire a noilor particule şi fenomene ele nu se mai limitează la limba greacă!) Un proton sau un neutron este format din trei quarci, câte unul din fiecare culoare. Un proton constă din doi quarci sus şi un quarc jos; un neutron con ţine doi jos şi unul sus. Putem crea particule făcute din ceilalţi quarci (straniu, fermecat, bază şi vârf, dar toate acestea au o masă mult mai mare şi se dezintegrează foarte rapid în protoni şi neutroni.

Ştim acum că nici atomii, nici protonii şi neutronii din atomi nu sunt indivizibili. Astfel, problema este: Care sunt adevăratele particule elementare, cărămizile de bază din care este făcut totul? Deoarece lungimea de undă a luminii este mult mai mare decât dimensiunea unui atom, nu putem spera să „privim” în mod obişnuit părţile unui atom.

Avem nevoie să utilizăm ceva cu o lungime de undă mult mai mică. Aşa cum am văzut în capitolul anterior, mecanica cuantică ne spune că toate particulele sunt de fapt unde şi că, cu cât este mai mare energia particulei, cu atât este mai mică lungimea de undă a undei corespunzătoare. Astfel, răspunsul cel mai bun pe care îl putem da întrebării noastre depinde de cât de mare este energia disponibilă a particulei; deoarece aceasta determină cât de mică este scara la care putem privi. Energiile particulelor se măsoară de obicei în unităţi numite electron-volţi. (În experimentele cu electroni, am văzut că Thomson a utilizat pentru accelerarea electronilor un câmp electric. Energia pe care o câştigă un electron de la un câmp electric de un volt este ceea ce numim electron-volt.) În secolul al nouăsprezecelea, când singurele energii ale particulelor pe care oamenii ştiau să le folosească erau energiile joase de câţiva electron-volţi generate de reacţii chimice cum este arderea, se credea că atomii erau unităţile cele mai mici. În experimentul lui Rutherford, particulele a aveau energii de milioane de electron-volţi. Mai recent, am învăţat cum să utilizăm câmpurile electromagnetice pentru a da particulelor energii la început de milioane şi apoi de miliarde de electron-volţi. Şi astfel ştim că particulele care erau considerate „elementare” acum douăzeci de ani sunt formate de fapt, din particule mai mici. Se poate ca, pe măsură ce mergem spre energii mai înalte să găsim că acestea sunt formate din particule şi mai mici? Desigur, acest lucru este posibil, dar avem unele motive teoretice să credem ştim, sau suntem foarte aproape de a cunoaşte, ultimele cărămizi ale naturii.

Utilizând dualismul undă/particulă discutat în capitolul anterior, totul în univers, inclusiv lumina şi gravitaţia, se poate descrie în funcţie de particule. Aceste particule au o proprietate numită spin. Un mod de a considera spinul este de a imagina particulele ca nişte mici titirezi care se rotesc în jurul unei axe. Totuşi, aceasta poate conduce la o înţelegere greşită, deoarece mecanica cuantică ne spune că particulele nu au o axă bine

determinată. Ceea ce ne spune în realitate spinul unei particule este cum arată particula din diferite direcţii. O particulă de spin 0 este ca un punct: ea arată la fel din diferite direcţii (fig. 5. i-i). Pe de altă parte, o particulă de spin1 este ca o săgeată: ea arată diferit din direcţii diferite (fig. 5. l-ii). Particula arată la fel numai dacă se efectuează o rotaţie completă (360 grade). O particulă de spin 2 este ca o săgeată dublă (fig. 5. l-iii): ea arată la fel dacă se efectuează o jumătate de rotaţie (180 grade). Asemănător, particulele de spin mai mare arată la fel dacă se rotesc cu fracţiuni mai mici dintr-o rotaţie completă. Toate acestea par destul de simple, dar este remarcabil că există particule care nu arată la fel dacă se efectuează doar o rotaţie completă: trebuie să se efectueze două rotaţii complete! Particulele de acest fel au spin 1/Z.

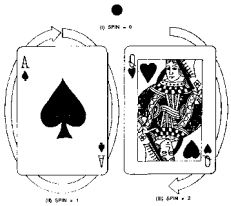


FIGURA 5.1

Toate particulele cunoscute din univers pot fi împărţite în două grupe: particule cu spin 1/2, care formează materia universului şi particule de spin 0, 1 şi 2 care, aşa cum vom vedea, dau naştere forţelor din particulele materiei. Particulele de materie ascultă de ceea ce se numeşte principiul de excluziune al lui Pauli. Acesta a fost descoperit în 1925 de un fizician austriac, Wolfgang Pauli care a primit premiul Nobel în 1945. El era prototipul de fizician teoretician: se spunea despre el că numai prezenţa sa într-un oraş strica experienţele! Principiul de excluziune al lui Pauli spune că două particule similare nu pot exista în aceeaşi stare, adică ele nu pot avea aceeaşi poziţie şi aceeaşi viteză, în limitele date de principiul de incertitudine. Principiul de excluziune este crucial deoarece el explică de ce particulele de materie nu suferă

un colaps spre o stare cu densitatea foarte mare sub influenţa forţelor produse de particulele de spin 0, 1 şi 2: dacă particulele de materie au aproape aceleaşi poziţii, ele trebuie să aibă viteze diferite, ceea ce înseamnă că ele nu vor sta multă vreme în aceeaşi poziţie. Dacă lumea ar fi fost creată fără principiul de excluziune, quarcii înşişi ar forma protoni şi neutroni separaţi, bine definiţi nici aceştia nu ar putea forma, împreună cu electronii, atomi bine definiţi. Ei toţi ar suferi un colaps formând o „supă" densă, aproape uniformă.

O înţelegere corectă a electronului şi a altor particule cu spin 1/2 nu a avut loc până în 1928 când a fost propusă o nouă teorie de către Paul Dirac, care a fost ales mai târziu profesor de matematică la Cambridge (aceeaşi funcţie pe care a avut-o Newton şi pe care o am eu acum). Teoria lui Dirac a fost prima de acest fel care era în acord atât cu mecanica cuantică, cât şi cu teoria specială a relativităţii. Ea explica matematic de ce electronul are spinul 1/2, adică de ce nu arată la fel atunci când efectuează o rotaţie completă, dar arată la fel dacă efectuează două rotaţii. Ea a prezis, de asemenea, că electronul trebuie să aibă un partener: un antielectron sau pozitron. Descoperirea pozitronului în 1932 a confirmat teoria lui Dirac şi a făcut ca acesta să primească premiul Nobel pentru fizică în 1933. ştim acum că fiecare particulă are o antiparticulă cu care poate fi anihilată. (În cazul particulelor purtătoare de forţă, antiparticulele sunt aceleaşi ca particulele însele.) Ar putea exista lumi întregi şi oameni făcuţi din antiparticule. Totuşi, dacă vă întâlniţi cu antipersoana dumneavoastră, nu daţi mâna! Aţi dispărea amândoi într-o mare străfulgerare de lumină. Faptul că în jurul nostru par să existe atât de multe particule faţă de antiparticule este extrem de important şi am să mă întorc la el mai târziu în acest capitol.

În mecanica cuantică se presupune că forţele sau interacţiunile între particulele de materie sunt purtate de particule cu spin întreg 0, 1 sau 2. O particulă de materie, cum este un electron sau un quarc emite o particulă

purtătoare de forţă. Recul datorat acestei emisii modifică viteza particulei de materie. Apoi particula purtătoare de forţă se ciocneşte cu altă particulă de materie şi este absorbită. Această ciocnire modifică viteza celei de-a doua particule, exact ca şi când ar fi existat o interacţie între cele două particule de materie.

O proprietate importantă a particulelor purtătoare de forţă este că ele nu ascultă de principiul de excluziune. Aceasta înseamnă că numărul particulelor care pot fi schimbate este nelimitat şi astfel ele pot da naştere unei interacţii tari. Totuşi, dacă particulele purtătoare de forţă au o masă mare, va fi dificil să fie produse şi schimbate pe o distanţă mare. Astfel că forţele pe care le poartă vor avea numai o rază scurtă de acţiune. Pe de altă parte, dacă particulele care poartă forţa nu au masă proprie, forţele vor fi de rază lungă. Se spune că particulele purtătoare de forţă schimbate între particulele de materie sunt particule virtuale deoarece, spre deosebire de particulele „reale”, ele nu pot fi detectate direct de un detector de particule. Totuşi, ştim că ele există deoarece au un efect măsurabil: ele dau naştere interacţiilor dintre particulele de materie. De asemenea, particulele de spin 0, 1 sau 2 există ca particule reale, în anumite condiţii, când ele pot fi detectate direct. Atunci, ele ne apar sub forma a ceea ce un fizician clasic ar numi unde, cum sunt undele luminoase sau undele gravitaţionale. Ele pot fi emise uneori atunci când particulele de materie interacţionează una cu alta prin schimb de particule virtuale purtătoare de forţă. (De exemplu, forţa de respingere electrică dintre doi electroni se datorează schimbului de fotoni virtuali, care nu pot fi niciodată detectaţi direct; dar, dacă un electron trece pe lângă altul, pot fi emişi fotoni reali pe care îi detectăm sub formă de unde de lumină.)

Particulele purtătoare de forţă pot fi grupate în patru categorii conform cu mărimea forţei pe care o poartă şi particulele cu care interacţionează. Trebuie subliniat că această împărţire în patru clase este făcută de om; ea este convenabilă pentru elaborarea teoriilor parţiale, dar poate

să nu corespundă pentru ceva mai profund. În cele din, majoritatea fizicienilor speră să găsească o teorie unificată care va explica toate cele patru forţe ca fiind aspecte diferite ale unei singure forţe. Într-adevăr, mulţi ar spune că acesta este scopul principal al fizicii contemporane. Recent, au fost făcute încercări reuşite de a unifica trei din cele patru categorii de forţe – şi le voi descrie în acest capitol. Problema unificării categoriei rămase, gravitaţia, o voi lăsa pentru mai târziu.

Prima categorie este forţa gravitaţională. Această forţă este universală, adică orice particulă simte forţa de gravitaţie, corespunzător cu masa sau energia sa. Gravitaţia este de departe cea mai slabă dintre cele patru forţe; ea este atât de slabă încât nu am observa-o deloc dacă nu ar avea două proprietăţi speciale: ea acţionează pe distanţe mari şi este întotdeauna o forţă de atracţie. Asta înseamnă că forţele gravitaţionale foarte slabe dintre particulele individuale din două corpuri mari, cum sunt pământul şi soarele, se pot aduna producând o forţă semnificativă. Celelalte trei forţe sunt ori de domeniu scurt, ori sunt uneori de atracţie şi uneori de respingere, astfel că ele tind să se anuleze. În modul mecanicii cuantice de a privi câmpul gravitaţional, forţa dintre două particule de materie este reprezentată ca fiind purtată de o particulă cu spin 2, numită graviton. Acesta nu are masă proprie, astfel că forţa pe care o poartă este de rază lungă. Forţa gravitaţională dintre soare şi pământ este atribuită schimbului de gravitoni între particulele care formează acest două corpuri. Deşi particulele schimbate sunt virtuale, ele produc în mod sigur un efect măsurabil – fac pământul să se deplaseze pe orbită în jurul soarelui! Gravitonii reali formează ceea ce fizicienii clasici ar numi unde gravitaţionale, care sunt foarte slabe şi atât de greu de detectat încât nu au fost observate niciodată.

Următoarea categorie este forţa electromagnetică, ce interacţionează cu particule încărcate electric, cum sunt electronii şi quarcii, dar nu interacţionează cu particule neîncărcate, cum sunt gravitonii. Ea este mult mai

puternică decât forţa gravitaţională: forţa electromagnetică dintre doi electroni este de circa un milion de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane (1 cu patruzeci şi două de zerouri după el) de ori mai mare decât forţa gravitaţională. Totuşi, există două feluri de sarcini electrice, pozitive şi negative. Forţa dintre două sarcini pozitive este o forţă de respingere, la fel ca forţa dintre două sarcini negative, dar între o sarcină pozitivă şi una negativă există o forţă de atracţie. Un corp mare, cum este pământul sau soarele, conţine sarcini pozitive şi negative în numere aproape egale. Astfel forţele de atracţie şi de respingere dintre particulele individuale aproape se anulează reciproc şi forţa electromagnetică existentă este foarte mică. Însă la scara mică a atomilor şi moleculelor, forţele electromagnetice sunt dominante. Atracţia electromagnetică dintre electronii încărcaţi negativ şi protonii încărcaţi pozitiv din nucleu determină mişcarea pe orbită a electronilor în jurul nucleului atomului, la fel cum atracţia gravitaţională determină mişcarea pământului pe orbită în jurul soarelui. Atrac (ia electromagnetică este imaginată ca fiind produsă prin schimbul unui număr mare de particule virtuale, fără masă, cu spin 1, numite fotoni. Şi aici, fotonii care sunt schimbaţi sunt particule virtuale. Totuşi, atunci când un electron trece de la o orbită permisă la alta mai apropiată de nucleu, se eliberează energie şi se emite un foton real care poate fi observat de ochiul uman ca lumină vizibilă, dacă are lungimea de undă corespunzătoare, sau de un detector de fotoni, cum este filmul fotografic. La fel, dacă un foton real se ciocneşte cu un atom, el poate deplasa un electron de pe 0 orbită mai apropiată de nucleu pe una mai îndepărtată. Aceasta utilizează energia fotonului, astfel că el este absorbit.

A treia categorie se numeşte interacţie nucleară slabă, care este responsabilă pentru radioactivitate şi care acţionează asupra tuturor particulelor de materie cu spin 1/2, dar nu acţionează asupra particulelor cu spin 0, 1 sau 2, cum sunt fotonii şi gravitonii. Interacţia nucleară slabă

nu a fost bine înţeleasă până în 1967, când Abdus Salam de la Imperial Collège, Londra, şi Steve Weinberg de la Harvard au propus teorii care unificau această interacţie cu forţa electromagnetică, la fel cum Maxwell a unificat electricitatea şi magnetismul cu o sută de ani mai înainte. Ei sugerau că în afară de foton mai există alte trei particule cu spin 1, numite colectiv bozoni vectori masivi care purtau interacţia slabă. Aceştia au fost numiţi W + (pronunţat W plus), W (pronunţat W minus) şi Z° (pronunţat Z zero) şi fiecare are o masă de circa 100 Gev (Gev înseamnă gigaelectron-volt sau un miliard de electron-volţi. Teoria Weinberg-Salam prezintă o proprietate numită distrugerea spontană a simetriei. Aceasta înseamnă ce ceea ce par a fi mai multe particule complet diferite la energii joase sunt de fapt acelaşi tip de particule, dar în stări diferite. La energii înalte, toate aceste particule se comportă asemănător. Efectul este asemănător comportării unei bile pe roata unei rulete. La energii înalte (când roata se învârteşte repede) bila se comportă într-un singur fel ea se roteşte de jur-împrejur. Dar când roata îşi încetineşte mişcarea, energia bilei scade şi în cele din urmă bila cade într-una din cele 37 despărţituri a1 e roţii. Cu alte cuvinte, la energii joase există treizeci şi şapte de stări diferite în care se poate găsi bila. Dacă, pentru un motiv oarecare, noi am putea observa bila numai la energii joase, am crede că există treizeci şi şapte de tipuri diferite de bile!

În teoria Weinberg-Salam, la energii mult mai mari de 100 Gev, cele trei particule noi şi fotonul s-ar comporta în mod asemănător. Dar la energii mai joase ale particulelor care apar în majoritatea situaţiilor normale, această simetrie între particule va fi distrusă. W +, Wei Z° ar căpăta mase mari, făcând ca forţele pe care le poartă să aibă un domeniu foarte scurt. În momentul în care Salam şi Weinberg şi-au propus teoria, puţine persoane îi credeau, iar acceleratoarele de particulele nu erau suficient de puternice pentru a atinge energiile de 100 Gev necesare pentru producerea particulelor reale W +, Wsau

Z°. Totuşi, în următorii aproximativ zece ani celelalte preziceri ale teoriei la energii joase concordau destul de bine cu experimentul astfel că, în 1979, Salam şi Weinberg primeau premiul Nobel pentru fizică, împreună cu Sheldon Glashow, tot de la Harvard, care sugerase teorii unificate similare ale interacţiilor nucleare slabe şi forţelor electromagnetice. Comitetul Nobel a fost scutit de neplăcerea de a fi făcut o greşeală datorită descoperirii în 1983 la CERN (Centrul European de Cercetări Nucleare) a celor trei parteneri masivi ai fotonului, cu masele şi alte proprietăţi prezise corect. Carlo Rubia, care a condus echipa de câteva sute de fizicieni care a făcut descoperirea, a primit premiul Nobel în 1984, împreună cu Simon van der Meer, inginerul de la CERN care a elaborat sistemul utilizat pentru stocarea antimateriei. (Este foarte greu să te faci remarcat astăzi în fizica experimentală dacă nu eşti deja în vârf!)

Cea de-a patra categorie o reprezintă interacţia nucleară tare, care ţine quarcii împreună în proton şi neutron şi ţine protonii şi neutronii împreună în nucleul atomului. Se crede că această interacţie este purtată de altă particulă cu spin 1, numită gluon, care interacţionează numai cu ea însăşi şi cu quarcii. Interacţia nucleară tare are o proprietate numită restricţie: ea leagă întotdeauna particulele într-o combinaţie care nu are culoare. Nu poate exista un singur quarc independent deoarece el ar trebui să aibă o culoare (roşu, verde sau albastru). În schimb, un quarc roşu trebuie să se unească cu un quarc verde şi unul albastru printr-un „sir” de gluoni (roşu şi verde + albastru = alb). O tripletă de acest fel constituie un proton sau un neutron. O altă posibilitate este o pereche formată dintr-un quarc şi un antiquarc (roşu + antiroşu, sau verde + antiverde, sau albastru + antialbastru = alb). Astfel de combinaţii formează particulele numite mezoni, care sunt instabile deoarece un quarc şi un antiquarc se pot anihila reciproc, producând electroni şi alte particule. Asemănător, restricţia împiedică existenţa independentă a unui singur gluon deoarece gluonii sunt coloraţi. În

schimb, trebuie să existe o colecţie de gluoni ale căror culori să se adune formând alb. O colecţie de acest fel formează o particulă numită glueball.

Faptul că restricţia împiedică observarea unui quarc sau gluon izolat poate face ca noţiunea de quarc şi cea de gluon ca particule să pară metafizice. Totuşi, există o altă proprietate a interacţiilor nucleare tari, numită libertate asimptotică, ce defineşte bine conceptul de quarc sau de gluon. La energii normale, interacţia nucleară tare este într-adevăr tare şi ea leagă strâns quarcii. Totuşi, experimentele cu acceleratori mari de particule arată că la energii înalte interacţia devine mult mai slabă şi quarcii şi gluonii se comportă ca particule aproape libere. Figura 5.2 prezintă o fotografie a ciocnirii dintre un antiproton şi un proton cu energie înaltă. S-au produs câţiva quarci aproape liberi şi au dat naştere „jeturilor" de urme vizibile din imagine.

FIGURA 5.2.
Un proton şi un antiproton se ciocnesc la energie înaltă, producînd o pereche de quarci aproape liberi.

Succesul unificării interacţiilor nucleare slabe şi forţelor electromagnetice a condus la mai multe încercări de a combina aceste două forţe cu interacţia nucleară tare în ceea ce se numeşte marea teorie unificată (sau MTU). Această denumire este mai degrabă o exagerare: teoriile rezultante nu sunt deloc mari, şi nici nu sunt complet unificate deoarece ele nu includ gravitaţia. În realitate, ele nu sunt nici teorii complete, deoarece conţin mai mulţi parametri ale căror valori nu pot fi prezise de teorie, ci care trebuie să fie alese astfel încât să se potrivească cu experimentul. Cu toate acestea, ele pot reprezenta un pas spre o teorie completă, pe deplin unificată. Ideea de bază a MTU este următoarea: Aşa cum s-a menţionat mai sus,

interacţiile nucleare tari devin mai slabe la energii înalte. Pe de altă parte, forţele electromagnetice şi interacţiile slabe, care nu sunt asimptotic libere, devin mai tari la energii înalte. La o energie foarte mare, numită energia marii unificări, aceste trei forţe ar avea toate aceeaşi tărie şi deci pot reprezenta doar aspecte diferite ale unei singure forţe. MTU prezice, de asemenea, că la această energie diferite particule de materie cu spin 1/2, cum sunt quarcii şi electronii, ar fi în mod esenţial aceleaşi, realizându-se o altă unificare.

Valoarea energiei marii unificări nu este prea bine cunoscută, dar probabil ar trebui să fie de cel puţin un milion de milioane de Gev. Generaţia actuală de acceleratori de particule poate realiza ciocnirea particulelor la energii de circa o sută de Gev şi maşinile sunt astfel proiectate încât s-ar putea ridica la câţiva mii de Gev. Dar o maşină care ar fi suficient de puternică pentru a accelera particule la energia marii unificări ar trebui să fie tot atât de mare ca şi Sistemul Solar şi ar fi improbabil de finanţat în climatul economic actual. Astfel, teoriile marii unificări nu pot fi testate. Totuşi, ca şi în cazul teoriei unificate electromagnetică şi slabă, la energii joase, există consecinţe ale teoriei care pot fi testate.

Cea mai interesantă este prezicerea că protonii, care reprezintă mare parte din masa materiei obişnuite, se pot dezintegra spontan în particule mai uşoare, ca antielectronii. Acest lucru este posibil deoarece la energia marii unificări nu există o diferenţă esenţială între un quarc şi un antielectron. Cei trei quarci dintr-un proton nu au în mod normal destulă energie pentru a se schimba în antielectroni, dar foarte rar unul dintre ei poate căpăta destulă energie pentru a face tranziţia, deoarece principiul de incertitudine arată că energia quarcilor din interiorul protonului nu poate fi determinată exact. Atunci protonul s-ar dezintegra. Probabilitatea ca un quarc să capete energie suficientă este atât de mică încât este probabil că trebuie să se aştepte cel puţin un milion de milioane de milioane de milioane de milioane (1 urmat de treizeci de

zerouri) de ani. Acesta este un timp mult mai lung decât timpul scurs de la Big Bang, care este doar de zece miliarde de ani (1 urmat de cinci zerouri). Astfel, s-ar putea crede că posibilitatea de dezintegrare spontană a protonului n-ar putea fi testată experimental. Totuşi, şansele de detectare a dezintegrării se pot mări dacă se observă o mare cantitate de materie care conţine un număr foarte mare de protoni. (Dacă, de exemplu, s-ar observa un număr de protoni egal cu 1 urmat de treizeci şi unu de zerouri timp de un an, ar fi de aşteptat, conform celei mai simple MTU, să se observe mai mult decât o dezintegrare a protonului.)

Au fost realizate mai multe experimente de acest fel, dar nimeni nu a dat o dovadă clară a dezintegrării protonului sau neutronului. Unul din experimente a utilizat opt mii de tone de apă şi a fost realizat în Salina Morton din Ohio (pentru a evita producerea altor evenimente cauzate de razele cosmice, care pot fi confundate cu efectele dezintegrării protonului). Deoarece în timpul experimentului nu a fost observată vreo dezintegrare spontană a protonului, se poate calcula că timpul de viaţă probabil al protonului trebuie să fie mai mare decât zece milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de ani (1 cu treizeci şi unu de zerouri). Acesta este un timp mai lung decât durata de viaţă prezisă de marea teorie unificată cea mai simplă, dar există teorii mai dezvoltate în care duratele de viaţă prezise sunt mai mari. Pentru a le testa vor fi necesare experimente şi mai precise care utilizează cantităţi şi mai mari de materie.

Chiar dacă este foarte greu să se observe dezintegrarea spontană a protonului, se poate întâmpla că propria noastră existenţă este o consecinţă a procesului invers, producerea protonilor sau, mai simplu, a quarcilor, dintr-o situaţie iniţială în care nu existau mai mulţi quarci decât antiquarci, care reprezintă modul cel mai natural de imaginat începutul universului. Materia de pe pământ este formată în principal din protoni şi neutroni, care la rândul lor sunt formaţi din quarci. Nu există antiprotoni şi

antineutroni, formaţi din quarci, cu excepţia câtorva pe care fizicienii îi produc în marile acceleratoare de particule. Avem dovezi de la razele cosmice că acelaşi lucru este adevărat pentru toată materia din galaxia noastră: nu există antiprotoni sau antineutroni în afară de un număr mic care sunt produşi ca perechi particulă/antiparticulă în ciocnirile la energii înalte. Dacă în galaxia noastră ar fi existat regiuni mari de antimaterie ne-am aştepta să observăm cantităţi mari de radiaţii de la graniţele dintre regiunile de materie şi antimaterie, unde multe particule s-ar fi ciocnit cu antiparticulele lor, anihilându-se reciproc şi emanând radiaţie de energie înaltă.

Nu avem dovezi directe că materia din alte galaxii este formată din protoni şi neutroni sau antiprotoni şi antineutroni, dar trebuie să fie ori una ori alta: nu poate fi un amestec într-o singură galaxie deoarece atunci ar trebui să observăm, de asemenea, o mare cantitate de radiaţii din anihilări. Credem, deci, că toate galaxiile sunt compuse din quarci mai degrabă decât din antiquarci; pare imposibil ca unele galaxii să fie materie şi altele antimaterie.

De ce trebuie să existe atât de mulţi quarci faţă de antiquarci? De ce nu există numere egale din fiecare? Este, desigur, un noroc pentru noi că numerele sunt inegale deoarece, dacă ele ar fi aceleaşi, aproape toţi quarcii şi antiquarcii s-ar fi anihilat reciproc la începutul universului şi ar fi lăsat un univers cu radiaţie, dar aproape fără materie. Atunci, nu ar fi existat galaxii, stele sau planete pe care să se fi putut dezvolta viaţa umană. Din fericire, marile teorii unificate pot da o explicaţie a faptului că universul trebuie să conţină acum mai mulţi quarci decât antiquarci, chiar dacă a început cu numere egale din fiecare. Aşa cum am văzut, MTU permite quarcilor să se transforme în antielectroni la energie înaltă. Ea permite, de asemenea, procesele inverse, antiquarcii transformându-se în electroni şi electronii şi antielectronii transformându-se în antiquarci şi quarci. A fost un timp în

universul foarte timpuriu când el era atât de fierbinte încât energiile particulelor ar fi fost destul de înalte pentru ca aceste transformări să aibă loc. Dar de ce trebuie să conducă aceasta la mai mulţi quarci decât antiquarci? Motivul este că legile fizicii nu sunt exact aceleaşi pentru particule şi antiparticule.

Până în 1956 s-a crezut că legile fizicii ascultau de fiecare dintre cele trei simetrii separate C, P şi T. Simetria C înseamnă că legile sunt aceleaşi pentru particule şi antiparticule. Simetria P înseamnă că legile sunt aceleaşi pentru orice situaţie şi imaginea sa în oglindă (imaginea în oglindă a unei particule care se roteşte spre dreapta este o particulă care se roteşte spre stânga). Simetria T înseamnă că dacă se inversează direcţia de mişcare a tuturor particulelor şi antiparticulelor, sistemul trebuie să se întoarcă la ceea ce a fost mai înainte; cu alte cuvinte, legile sunt aceleaşi în direcţie înainte şi înapoi în timp.

În 1956, doi fizicieni americani, Tsung-Dao Lee şi Chen Ning Yang, sugerau că de fapt interacţia slabă nu ascultă de simetria P. Cu alte cuvinte, interacţia slabă ar face ca universul să se dezvolte diferit faţă de modul în care s-ar dezvolta imaginea sa în oglindă. În acelaşi an, o colegă, Chien-Shiung Wo, a dovedit că prezicerea lor era corectă. Ea a făcut aceasta aliniind nucleele atomilor radioactivi într-un câmp magnetic, astfel că toate se roteau în aceeaşi direcţie, şi a arătat că electronii erau emişi mai mult într-o direcţie decât în cealaltă. În anul următor, Lee şi Yang au primit premiul Nobel pentru ideea lor. S-a descoperit, de asemenea, că interacţia slabă nu ascultă de simetria C. Adică, aceasta ar face ca un univers format din antiparticule să se comporte diferit de universul nostru. Cu toate acestea, părea că interacţia slabă ascultă de simetria combinată CP. Adică, universul s-ar dezvolta în acelaşi fel ca şi imaginea sa în oglindă dacă, în plus, fiecare particulă ar fi înlocuită cu antiparticula sa! Totuşi, în 1964, încă doi americani, J.W. Cronin şi Val Fitch au descoperit că dezintegrarea anumitor particule numite mezoni K nu ascultă de simetria CP. Cronin şi Fitch au primit în cele din

urmă premiul Nobel pentru lucrarea lor, în 1980. (Au fost acordate multe premii pentru a arăta că universul nu este atât de simplu cum am fi putut crede!)

Există o teoremă matematică, ce spune că orice teorie care ascultă de mecanica cuantică şi de teoria relativităţii trebuie să asculte întotdeauna de simetria combinată CPT. Cu alte cuvinte, universul ar fi trebuit să se comporte la fel dacă se înlocuiau particulele cu antiparticulele, dacă se lua imaginea în oglindă şi dacă se inversa direcţia timpului. Dar Cronin şi Fitch au arătat că dacă se înlocuiesc particulele cu antiparticulele şi se ia imaginea în oglindă, dar nu se inversează direcţia timpului, atunci universul nu se comportă la fel. Prin urmare, legile fizicii trebuie să se schimbe dacă se inversează direcţia timpului ele nu ascultă de simetria T.

În mod sigur universul timpuriu nu asculta de simetria T: pe măsură ce timpul merge înainte universul se extinde dacă el ar curge înapoi, universul s-ar contracta. şi, deoarece există for [e care nu ascultă de simetria T, rezultă că atunci când universul se extinde aceste forţe pot cauza transformarea mai multor antielectroni în quarci, decât electroni în antiquarci. Atunci, când universul se extindea şi se răcea, antiquarcii se anihilau cu quarcii, dar deoarece erau mai mulţi quarci decât antiquarci, rămânea un mic exces de quarci. Din aceştia s-a format materia pe care o vedem azi şi din care suntem făcuţi noi înşine. Astfel, chiar existenţa noastră ar putea fi privită ca o confirmare a marilor teorii unificate, deşi numai o confirmare calitativă; există incertitudini, astfel că nu se poate prezice numărul de quarci care va rămâne după anihilare, sau chiar dacă rămân quarci sau antiquarci. (Totuşi, dacă ar fi fost exces de antiquarci, noi am fi numit pur şi simplu antiquarcii quarci şi quarcii antiquarci.)

Marile teorii unificate nu includ forţa de gravitaţie. Aceasta nu are prea mare importanţă, deoarece gravitaţia este o forţă atât de slabă încât, de obicei, efectele sale pot fi neglijate când tratăm particulele elementare sau atomii. Totuşi, faptul că are un domeniu mare de acţiune şi este

întotdeauna o forţă de atracţie înseamnă că efectele sale se adună. Astfel, pentru un număr suficient de mare de particule materiale, forţele gravitaţionale pot domina toate celelalte forţe. Din această cauză gravitaţia determină evoluţia universului. Chiar pentru obiecte de dimensiunea unor stele, forţa de atracţie gravitaţională poate învinge celelalte forţe producând colapsul stelei. Lucrarea mea din 1970 se referea la găurile negre care pot rezulta dintr-un astfel de colaps stelar şi la câmpurile gravitaţionale intense din jurul lor. Aceasta a condus la primele indicaţii asupra modului în care teoria mecanicii cuantice şi teoria generală a relativităţii se pot afecta reciproc o scurtă privire asupra unei teorii cuantice a gravitaţiei care urmează să apară.

6. Găurile negre

Termenul de gaură neagră este de origine foarte recentă. El a fost inventat în 1969 de savantul american John Wheeler ca o descriere grafică a unei idei care are o vechime de cel puţin două sute de ani, într-o vreme când existau două teorii asupra luminii: una, susţinută de Newton, era că lumina este formată din particule; cealaltă era că lumina este formată din unde. ştim acum că ambele teorii sunt corecte. Prin dualismul undă/particulă din mecanica cuantică lumina poate fi privită atât ca undă cât şi ca particulă. În cadrul teoriei care susţinea că lumina este formată unde nu era clar modul în care ea ar trebui să răspundă la gravitaţie. Dar dacă lumina este formată din particule, ar fi de aşteptat ca acestea să fie afectate de gravitaţie în acelaşi fel în care sunt afectate ghiulele de tun, rachetele şi planetele. La început oamenii credeau că particulele de lumină se deplasează cu viteză infinită, dar descoperirea lui Roemer că lumina se deplasează cu viteză finită a arătat că gravitaţia poate avea un efect important. John Michell, un membru în consiliul unui Colegiu din Cambridge, a scris, pe baza acestei ipoteze, în 1783, o lucrare în revista *Philosophical Transactions* a Societăţii

Regale din Londra, în care a arătat că o stea care este suficient de masivă şi compactă ar avea un câmp gravitaţional atât de puternic încât lumina nu poate ieşi: orice lumină emisă de suprafaţa stelei ar fi atrasă înapoi de atracţia gravitaţională a stelei înainte de a putea ajunge foarte departe. Michell sugera că ar putea exista multe stele ca aceasta. Deşi nu le-am putea vedea, pentru că lumina lor nu ar ajunge la noi, totuşi am putea să simţim atracţia lor gravitaţională. Aceste obiecte sunt numite acum găuri negre pentru că asta sunt: goluri negre în spaţiu. O sugestie similară a fost făcută câţiva ani mai târziu de savantul francez marchizul de Laplace, aparent independent de Michell: Este destul de interesant că Laplace a inclus-o numai în prima şi a doua ediţie a cărţii sale *Sistemul lumii* şi a scos-o din ediţiile ulterioare; poate că a hotărât că era o idee aiurită. (De asemenea, teoria corpusculară a luminii nu a mai fost susţinută în secolul al nouăsprezecelea; părea că totul se putea explica prin teoria ondulatorie şi, conform acesteia, nu ora clar dacă lumina era afectată de gravitaţie.)

De fapt, nu este logic ca lumina să fie tratată ca nişte ghiulele în teoria gravitaţiei a lui Newton, pentru că viteza luminii este fixă. (O ghiulea lansată în sus de la pământ va fi încetinită de gravitaţie şi în cele din urmă se va opri şi va cădea; totuşi, un foton continuă să se deplaseze în sus cu viteză constantă. Atunci, cum poate gravitaţia newtoniană să afecteze lumina?) o teorie consistentă privind modul în care gravitaţia afectează lumina nu a apărut până când Einstein n-a propus relativitatea generalizată, în 1915. Şi chiar atunci a durat mult timp până când au fost înţelese implicaţiile teoriei pentru stelele masive.

Pentru a înţelege modul în care se poate forma o gaură neagră, avem nevoie mai întâi de înţelegerea unui ciclu de viaţă a unei stele. O stea se formează atunci când o cantitate mare de gaz (în majoritate hidrogen) începe să sufere un colaps în sine însuşi, datorită atracţiei sale gravitaţionale. Atunci când ea se contractă, atomii gazului se ciocnesc între ei din ce în ce mai des şi cu viteze din ce

în ce mai mari gazul se încălzeşte. În cele din urmă, gazul va fi atât de fierbinte încât atunci când atomii de hidrogen se ciocnesc ei nu se mai depărtează unul de altul, ci fuzionează formând heliu. Căldura eliberată în această reacţie, care este ca o explozie controlată a unei bombe cu hidrogen, este aceea care face ca steaua să strălucească. Această căldură suplimentară măreşte şi mai mult presiunea gazului până ce este suficientă pentru a echilibra atracţia gravitaţională şi gazul încetează să se contracte. Este cam ca un balon există. un echilibru între presiunea aerului din interior, care încearcă să producă umflarea balonului şi tensiunea din cauciuc, care încearcă să micşoreze balonul. Stelele vor rămâne stabile un timp îndelungat în care căldura degajată de reacţiile nucleare echilibrează atracţia gravitaţională. În cele din urmă însă steaua nu va mai avea hidrogen şi alţi combustibili nucleari. În mod paradoxal, cu cât stelele au mai mult combustibil la început, cu atât mai curând se termină. Aceasta se întâmplă deoarece cu cât o stea este mai masivă, cu atât trebuie să fie mai fierbinte pentru a echilibra atracţia sa gravitaţională. şi cu cât este mai fierbinte, cu atât mai repede se consumă combustibilul său. Soarele nostru are probabil destul combustibil pentru încă cinci miliarde de ani, dar stelele mai masive pot să-şi epuizeze combustibilul doar într-o sută de milioane de ani, mult mai puţin decât vârsta universului. Atunci când o stea nu mai are combustibil, ea începe să se răcească şi astfel se contractă. Ce poate să i se întâmple apoi a fost înţeles pentru prima oară abia la sfârşitul anilor ’20.

În 1928 un student indian, Subrahmanyan Chandrasekhar, a luat vaporul spre Anglia, pentru a studia la Cambridge cu astronomul britanic Sir Arthur Eddington, un expert în relativitatea generalizată. (Conform unor relatări, un ziarist i-a spus lui Eddington la începutul anilor ’20 că a auzit că ar fi numai trei oameni în lume care înţelegeau relativitatea generalizată. Eddington a tăcut un timp, apoi a replicat „Încerc să mă gândesc cine este a treia persoană”.) În timpul călătoriei din India,

Chandrasekhar a calculat modul în care o stea mare putea exista şi se putea menţine contra gravitaţiei sale după ce şi-a consumat tot combustibilul. Ideea era aceasta: atunci când o stea se micşorează, particulele de materie ajung foarte aproape una de alta şi astfel, conform principiului de excluziune al lui Pauli, ele trebuie să aibă viteze foarte diferite. Aceasta le face să se îndepărteze una de alta şi tinde să producă expansiunea stelei. Prin urmare, o stea se poate menţine la o rază constantă printr-un echilibru între atracţia gravitaţională şi respingerea care apare datorită principiului de excluziune, aşa cum mai înainte gravitaţia sa era echilibrată de căldură.

Chandrasekhar a realizat însă că există o limită pentru respingerea datorată principiului de excluziune. Teoria relativităţii limitează diferenţa maximă între vitezele particulelor de materie din stea la viteza luminii. Aceasta înseamnă că atunci când o stea ajunge destul de densă, respingerea cauzată de principiul de excluziune ar fi mai mică decât atracţia gravitaţională. (Această masă se numeşte acum limita Chandrasekhar.) o descoperire similară a fost făcută aproape în acelaşi timp de savantul rus Lev Davidovici Landau.

Aceasta a avut implicaţii serioase pentru soarta finală a stelelor masive. Dacă masa unei stele este mai mică decât limita Chandrasekhar, ea poate să-şi oprească în cele din urmă contracţia şi să se stabilizeze la o stare finală posibilă ca o „pitică albă” cu o rază de câteva mii de kilometri şi o densitate de sute de tone pe centimetru cub. O pitică albă este susţinută de repulsia, datorată principiului de excluziune, între electronii materiei sale. Observăm un număr mare din aceste stele pitice albe.

Una dintre primele descoperite este o stea care se deplasează pe orbită în jurul lui Sirius, cea mai strălucitoare stea de pe cerul nopţii.

Landau a arătat că există o altă stare finală posibilă pentru o stea, tot cu masă limită de aproximativ o dată sau de două ori masa soarelui, dar mult mai mică chiar decât o pitică albă. Aceste stele ar fi susţinute de respingerea,

datorată principiului de excluziune, dintre neutroni şi protoni, nu între electroni. Ele au fost numite, deci, stele neutronice. Ele ar avea o rază de numai aproximativ şaisprezece kilometri şi o densitate de sute de milioane de tone pe centimetru cub. În momentul când au fost prezise prima oară, nu exista o modalitate de observare a stelelor neutronice. Ele nu au fost detectate, în realitate, decât mult mai târziu.

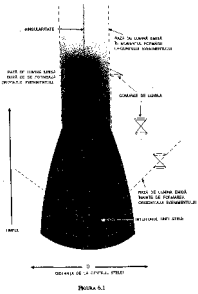
Pe de altă parte, stelele cu masa peste limita Chandrasekhar au o mare problemă atunci când îşi termină combustibilul. În unele cazuri ele pot exploda sau reuşesc să elimine destulă materie pentru a-şi reduce masa sub limită şi deci să evite colapsul gravitaţional catastrofal, dar era greu de crezut că acest lucru se întâmpla întotdeauna, indiferent cât de mare era steaua. Cum ar fi ştiut ea că trebuie să piardă din greutate? Şi chiar dacă fiecare stea reuşea să piardă destulă masă pentru a evita colapsul, ce s-ar fi întâmplat dacă aţi fi adăugat masă la o pitică albă sau la o stea neutronică astfel încât să depăşească limita? Ar fi suferit un colaps spre densitate infinită? Eddington a fost şocat de această implicaţie şi a refuzat să creadă rezultatul lui Chandrasekhar. Eddington credea că pur şi simplu nu era posibil ca o stea să sufere un colaps către un punct. Acesta a fost punctul de vedere al multor savanţi; Einstein însuşi a scris o lucrare în care pretindea că stelele nu se vor restrânge la dimensiunea zero: Ostilitatea celorlalţi oameni de ştiinţă, în special a lui Eddington, fostul său profesor şi o autoritate de primă importanţă în ceea ce priveşte structura stelelor, l-a convins pe Chandrasekhar să abandoneze această direcţie de lucru şi să treacă la alte probleme de astronomie, cum este mişcarea roiurilor de stele. Totuşi, atunci când i s-a decernat premiul Nobel în 1983, acesta a fost, în parte cel puţin, pentru lucrarea sa de început asupra masei limită a stelelor reci.

Chandrasekhar a arătat că principiul de excluziune putea să nu oprească colapsul unei stele mai masive deci limita Chandrasekhar, dar problema înţelegerii a ceea ce i

se întâmplă unei stele de acest fel, conform teoriei relativităţii generalizate, a fost rezolvată pentru prima oară de un tânăr american, Robert Oppenheimer, în 1939. Rezultatul său sugera însă că nu ar fi existat consecinţe observabile care să poată fi detectate de telescoapele de atunci. Apoi a intervenit cel de-al doilea război mondial şi Oppenheimer însuşi a fost implicat în proiectul bombei atomice. După război, problema colapsului gravitaţional a fost uitată deoarece majoritatea oamenilor de ştiinţă erau preocupati de ceea ce se întâmpla la scara atomului şi nucleului său. Totuşi, în anii ’60, interesul problemelor la scară mare ale astronomiei şi cosmologiei a fost retrezit de o creştere însemnată a numărului şi domeniului de observaţii astronomice, determinată de aplicarea tehnologiei moderne. Atunci lucrarea lui Oppenheimer a fost redescoperită şi extinsă de mai multe persoane.

Imaginea pe care o avem acum din lucrarea lui Oppenheimer este următoarea: câmpul gravitaţional al stelei modifică traiectoriile razelor de lumină în spaţiu timp faţă de traiectoriile care ar fi fost dacă steaua nu exista. Conurile de lumină care indică traiectoriile urmate în spaţiu şi timp de scânteierile de lumină emise de vârfurile lor sunt curbate spre interior lângă suprafaţa unei stele. Aceasta se poate vedea la curbarea luminii stelelor îndepărtate observată în timpul unei eclipse de soare. Când steaua se contractă, câmpul gravitaţional la suprafaţa sa devine mai puternic şi conurile de lumină se curbează şi mai mult spre interior. Aceasta face şi mai dificilă ieşirea luminii din stea şi, pentru un observator aflat la distanţă, lumina apare mai slabă şi mai roşie. În cele din urmă, când steaua s-a micşorat până la o anumită rază critică, câmpul gravitaţional la suprafaţă devine atât de puternic încât conurile de lumină sunt curbate spre interior aşa de mult că lumina nu mai poate ieşi (fig. 6.1). Conform teoriei relativităţii, nimic nu se poate deplasa mai repede decât lumina. Astfel, dacă lumina nu poate ieşi, nu poate ieşi nimic altceva; totul este atras de câmpul gravitaţional. Există deci un set de evenimente într-o

regiune a spaţiu-timpului din care nu se poate ieşi pentru a ajunge la un observator aflat la distanţă. Această regiune se numeşte o gaură neagră. Limita sa se numeşte orizontul evenimentului şi el coincide cu traiectoriile razelor de lumină care nu au reuşit să iasă din gaura neagră.



Pentru a înţelege ce aţi vedea dacă aţi privi colapsul unei stele ce formează o gaură neagră, trebuie să reamintim că în teoria relativităţii nu există timp absolut. Fiecare observator are propria sa măsură a timpului. Timpul pentru cineva de pe stea va diferi de timpul pentru cineva aflat la distanţă, datorită câmpului gravitaţional al stelei. Să presupunem că un astronaut cutezător aflat pe suprafaţa unei stele care suferă un colaps, şi care se prăbuşeşte odată cu ea, trimite un semnal la fiecare secundă, conform ceasului său, către nava sa spaţială, aflată pe orbită în jurul stelei. La un moment dat indicat de ceasul său, să presupunem 11: 00, steaua s-ar micşora sub raza critică la care câmpul gravitaţional devine atât de puternic încât nimic nu mai poate ieşi şi semnalele sale nu mai ajung la navă. Pe măsură ce se apropie ora 11: 00 camarazii săi, care privesc din navă, ar găsi că intervalele dintre semnalele succesive emise de astronaut ar fi din ce în ce mai lungi, dar acest efect ar fi foarte mic înainte de 10: 59: 59. Ei ar trebui să aştepte doar foarte puţin mai mult de o secundă între semnalul astronautului de la ora 10: 59: 58 şi cel trimis când ceasul său arăta 10: 59: 59, dar ar trebui să aştepte pentru totdeauna semnalul de la 11: 00. Undele de lumină emise de suprafaţa stelei între

10: 59: 59 şi 11: 00, după ceasul astronautului, ar fi împrăştiate pe o perioadă infinită de timp, după cum se vede din nava spaţială. Intervalul de timp dintre sosirile undelor succesive la nava spaţială ar fi din ce în ce mai lung, astfel că lumina stelei ar apărea din ce în ce mai roşie şi din ce în ce mai slabă. În cele din urmă, steaua ar fi atât de întunecată încât nu ar mai putea fi văzută de pe nava spaţială; tot ce rămâne este o gaură neagră în spaţiu. Steaua ar continua însă să exercite aceeaşi forţă gravitaţională asupra navei spaţiale, care ar continua să se deplaseze pe orbită în jurul găurii negre.

Totuşi, scenariul nu este în întregime realist datorită următoarei probleme. Gravitaţia devine mai slabă pe măsură ce vă depărtaţi de stea, astfel încât forţa gravitaţională asupra picioarelor cutezătorului nostru astronaut ar fi întotdeauna mai mare decât forţa exercitată asupra capului său. Această diferenţă între forţe l-ar întinde pe astronautul nostru ca pe nişte spaghetti sau l-ar rupe înainte ca steaua să se contracte la raza critică la car s-a format orizontul evenimentului! Totuşi, credem că există obiecte mult mai mari în univers, cum sunt regiunile centrale ale galaxiilor, care pot suferi, de asemenea, un colaps gravitaţional formând găuri negre; un astronaut aflat pe unul din acestea nu ar fi rupt înainte de a se forma gaura neagră. De fapt, el nu ar simţi nimic special când ar atinge raza critică şi ar putea trece de punctul fără întoarcere fără să-l observe. Totuşi, doar în câteva ore, pe măsură ce regiunea continuă să sufere colapsul, diferenţa dintre forţele gravitaţionale exercitate asupra capului său şi picioarelor sale ar deveni atât de mare încât, din nou, l-ar rupe în bucăţi.

Lucrarea pe care Roger Penrose şi cu mine am făcut-o între 1965 şi 1970 a arătat, conform teoriei relativităţii, că într-o gaură neagră trebuie să fie o singularitate de densitate infinită şi curbură infinită a spaţiu-timpului. Aceasta este ca Big Bang-ul de la începutul timpului, numai că el ar fi un sfârşit al timpului pentru corpul care suferă colapsul şi pentru astronaut. La această

singularitate legile ştiinţei şi capacitatea noastră de a prezice viitorul nu ar mai funcţiona. Totuşi, orice observator rămas în afara găurii negre nu ar fi afectat de acest eşec al predictibilităţii, deoarece nici lumina, nici orice alt semnal din singularitate nu l-ar putea ajunge. Acest fapt remarcabil l-a făcut pe Roger Penrose să propună ipoteza cenzurii cosmice care poate fi parafrazată astfel: „Dumnezeu detestă o singularitate nudă". Cu alte cuvinte, singularităţile produse de colapsul gravitaţional se produc numai în locuri ca găurile negre, unde ele sunt decent ascunse de o privire exterioară orizontului evenimentului. Strict, aceasta se numeşte ipoteza cenzurii cosmice slabe: ea protejează observatorii care rămân în afara găurii negre de consecinţele eşecului capacităţii de prezicere care se produce la singularitate, dar nu face nimic pentru bietul astronaut nefericit care cade în gaură.

Există unele soluţii ale ecuaţiilor relativităţii generalizate în care este posibil ca astronautul nostru să vadă o singularitate nudă: el poate să evite să atingă singularitatea şi în schimb să cadă printr-o „gaură de vierme" şi să iasă în altă regiune a universului. Acesta ar oferi mari posibilităţi de a călători în spaţiu şi timp, dar din nefericire se pare că aceste soluţii sunt toate foarte instabile; cea mai mică perturbaţie, cum ar fi prezenţa unui astronaut, le poate modifica astfel încât astronautul nu ar putea vedea singularitatea până nu ajunge la ea şi timpul său ajunge la sfârşit. Cu alte cuvinte, singularitatea s-ar găsi întotdeauna în viitorul său şi niciodată în trecutul său. Versiunea tare a ipotezei cenzurii cosmice afirmă că într-o soluţie realistă, singularităţile s-ar găsi întotdeauna ori în întregime în viitor (ca singularităţile colapsului gravitaţional), ori în întregime în trecut (ca Big Bang-ul). Este măreţ să se spere că este valabilă o versiune a ipotezei cenzurii, deoarece în apropierea singularităţilor nude poate fi posibilă călătoria în trecut. Deşi acest lucru ar fi grozav pentru scriitorii de literatură ştiinţifico-fantastică, ar însemna că nimeni nu ar mai avea o viaţă sigură: cineva poate intra în trecut şi-şi poate omorî tatăl

sau mama înainte ca tu să fii conceput!

Orizontul evenimentului, limita regiunii spaţiu-timpului de unde nu se mai poate ieşi, acţionează ca o membrană într-un singur sens în jurul găurii negre: obiecte ca astronauţii imprudenţi pot cădea prin orizontul evenimentului în gaura neagră, dar din gaura neagră nu mai iese nimic prin orizontul evenimentului. (Amintim că orizontul evenimentului este traiectoria în spaţiu-timp a luminii care încearcă să iasă din gaura neagră, şi că nimic nu se poate deplasa mai repede decât lumina.) S-ar putea spune despre orizontul evenimentului ceea ce poetul Dante spunea despre intrarea în Infern: „Voi ce intraţi aici, lăsaţi orice speranţă”. Orice sau oricine cade prin orizontul evenimentului va ajunge curând la regiunea de densitate infinită şi la sfârşitul timpului.

Relativitatea generalizată prezice că obiectele grele în mişcare determină emisia de unde gravitaţionale, unde ale curburii spaţiului care se deplasează cu viteza luminii. Acestea sunt similare undelor de lumină, care sunt unde ale câmpului electromagnetic, dar sunt mult mai greu de detectat. Ca şi lumina, ele transportă energia din obiectele care le emit. Ar fi deci de aşteptat ca un sistem de obiecte masive să ajungă în cele din urmă într-o stare staţionară deoarece energia din orice mişcare va fi transportată de emisia undelor gravitaţionale. (Este ca atunci când cade un dop în apă: la început el se mişcă destul de mult în sus şi în jos, dar deoarece undele duc cu ele energia sa, el va ajunge în cele din urmă la o stare staţionară.) De exemplu, mişcarea pământului pe orbita sa în jurul soarelui produce unde gravitaţionale. Ca efect al pierderii de energie, orbita pământului se va modifica astfel încât treptat el ajunge din ce în ce mai aproape de soare; ciocnindu-se de el şi ajungând într-o stare staţionară. Rata pierderii de energie este foarte mică, aproape destul să pună în funcţiune un radiator electric. Aceasta înseamnă că vor fi necesari o mie de milioane de milioane de milioane de milioane de ani până când pământul va cădea pe soare, astfel că nu este necesar să vă îngrijoraţi acum! Modificarea orbitei

pământului este prea lentă pentru a fi observată, dar producerea acestui efect a fost observată în ultimii câţiva ani în sistemul numit PSR 1913 + 16 (PSR înseamnă „pulsar”, un tip special de stea neutronică, ce emite impulsuri regulate de unde radio). Acest sistem conţine două stele neutronice care se mişcă pe orbită una în jurul celeilalte, şi energia pe care o pierd prin emisia de unde gravitaţionale le face să se deplaseze pe spirală una către cealaltă.

În timpul colapsului gravitaţional al unei stele când se formează o gaură neagră, mişcările ar fi mult mai rapide, astfel că energia este transportată cu o rată mult mai mare. Prin urmare; nu va dura mult până când ea va ajunge într-o stare staţionară. Cum ar arăta această stare finală? Se poate presupune că ea ar depinde de toate caracteristicile complexe ale stelei din care s-a format nu numai de masa sa şi de viteza de rotaţie, dar şi de diferite densităţi ale diferitelor părţi ale stelei şi de mişcările complicate ale gazelor din stea. Şi dacă găurile negre ar fi tot atât de variate ca şi obiectele din care s-au format în urma colapsului, poate fi foarte greu să se facă preziceri despre găurile negre, în general.

Totuşi, în 1967 studiul găurilor negre a fost revoluţionat de Werner Israel, un savant canadian (care s-a născut în Berlin, a crescut în Africa de Sud şi şi-a luat doctoratul în Irlanda). Israel a arătat că, în conformitate cu relativitatea generalizată, găurile negre care nu se rotesc trebuie să fie foarte simple; ele erau perfect sferice, dimensiunea lor depindea numai de masa lor şi oricare două găuri negre de acest fel având aceeaşi masă erau identice. De fapt, ele ar putea fi descrise de o soluţie particulară a ecuaţiilor lui Einstein care era cunoscută încă din 1917, descoperită de Karl Schwarzschild la scurtă vreme după descoperirea relativităţii generalizate. La început, multe persoane, printre care chiar Israel, au argumentat că deoarece găurile negre trebuie să fie perfect sferice, o gaură neagră poate fi formată numai prin colapsul unui obiect perfect sferic. Orice stea reală care nu

ar fi niciodată perfect sferică ar putea deci să sufere un colaps formând doar o singularitate nudă.

A existat însă o interpretare diferită a rezultatului obţinut de Israel, care a fost susţinută în special de Roger Penrose şi John Wheeler. Ei susţineau că mişcările rapide care au loc în timpul colapsului unei stele ar însemna că undele gravitaţionale pe care le emite ar face-o şi mai sferică şi în momentul în care ajunge la o stare staţionară, ea ar fi precis sferică. Conform acestui punct de vedere, orice stea care nu se roteşte, indiferent cât de complicată este forma sa şi structura sa internă, ar sfârşi după colapsul gravitaţional ca o gaură neagă perfect sferică, a cărei dimensiune depinde numai de masa sa. Calculele ulterioare au confirmat acest punct de vedere şi curând acesta a fost general adoptat.

Rezultatul lui Israel trata cazul găurilor negre formate numai din corpuri care nu se rotesc. În 1963, Roy Kerr din Noua Zeelandă a descoperit un set de soluţii ale ecuaţiilor relativităţii generalizate care descriau găurile negre rotitoare. Aceste găuri negre „Kerr” se rotesc cu viteză constantă, dimensiunea şi forma lor depinzând numai de masa şi viteza lor de rotaţie. Dacă rotaţia este zero, gaura neagră este perfect rotundă şi soluţia este identică cu soluţia Schwarzschild. Dacă rotaţia este diferită de zero, gaura neagră se bombează spre exterior la ecuatorul său (la fel cum pământul sau soarele se bombează datorită rotaţiei lor) şi cu cât se roteşte mai repede, cu atât se bombează mai mult. Astfel, pentru a extinde rezultatul lui Israel ca să includă corpurile rotitoare, s-a presupus că orice corp rotitor care suferă un colaps formând o gaură neagră ar ajunge în cele din urmă la o stare staţionară descrisă de soluţia Kerr.

În 1970 un student în cercetare şi coleg al meu de la Cambridge, Brandon Carter, a făcut primul pas în demonstrarea acestei ipoteze. El a arătat că, în cazul în care o gaură neagră rotitoare are o axă de simetrie, ca un titirez, dimensiunea şi forma sa ar depinde numai de masa şi viteza sa de rotaţie. Apoi, în 1971, eu am demonstrat că

orice gaură neagră rotitoare staţionară ar avea într-adevăr o asemenea axă de simetrie. În sfârşit, în 1973, David Robinson de la Kings Collège din Londra a utilizat rezultatele lui Carter şi ale mele pentru a arăta că ipoteza fusese corectă: o asemenea gaură neagră trebuie într-adevăr să fie o soluţie Kerr. Astfel, după colapsul gravitaţional o gaură neagră trebuie să ajungă într-o stare în care ea poate fi rotitoare, dar nu pulsantă. Mai mult, dimensiunea şi forma sa ar depinde numai de masa şi viteza sa de rotaţie şi nu de natura corpului care a suferit colapsul formând-o. Acest lucru a devenit cunoscut prin maxima „O gaură neagră nu are păr”. Teorema „fără păr” este de mare importanţă practică, deoarece restrânge foarte mult tipurile posibile de găuri negre. Prin urmare; se pot elabora modele detaliate de obiecte care pot conţine găurile negre, şi prezicerile modelelor se pot compara cu observaţiile. Aceasta mai înseamnă că atunci când se formează o gaură neagră se pierde o cantitate foarte mare de informaţii privind corpul care a suferit colapsul, deoarece după aceea putem măsura numai masa şi viteza de rotaţie a corpului. Semnificaţia acestui fapt se va vedea în următorul capitol.

Găurile negre reprezintă unul din foarte puţinele cazuri din istoria ştiinţei în care teoria a fost elaborată foarte detaliat ca un model matematic, înainte de a exista vreo dovadă experimentală a corectitudinii sale. Într-adevăr, acesta era principalul argument al celor care erau împotriva găurilor negre: cum ar putea cineva să creadă în existenţa unor obiecte pentru care singura dovadă o constituie calculele bazate pe teoria dubioasă a relativităţii generalizate? Totuşi, în 1963, Maarten Schmidt, un astronom de la Observatorul Palomar din California, a măsurat deplasarea spre roşu a unui obiect ca o stea slabă în direcţia sursei de unde radio numită 3C273 (adică, sursa numărul 273 din al treilea catalog Cambridge de surse radio). El a descoperit că aceasta era prea mare pentru a fi cauzată de un câmp gravitaţional: dacă ar fi fost o deplasare spre roşu gravitaţională, obiectul ar fi trebuit să

fie atât de masiv şi atât de aproape de noi încât el ar fi perturbat orbitele planetelor din sistemul solar. Aceasta a sugerat că deplasarea spre roşu era cauzată de expansiunea universului, care, la rândul său, însemna că obiectul era la foarte mare depărtare. şi pentru a fi vizibil de la o distanţă aşa de mare, obiectul trebuie să fie foarte strălucitor, cu alte cuvinte să emită o cantitate uriaşă de energie. Singurul mecanism care s-ar putea crede că ar produce cantităţi aşa de mari de energie pare a fi colapsul gravitaţional nu numai al unei singure stele, ci al întregii regiuni centrale a unei galaxii. Au fost descoperite mai multe „obiecte cvasistelare" similare, sau quasari, toate cu deplasări mari spre roşu. Dar ele sunt toate prea departe şi deci prea greu de observat pentru a furniza dovezi sigure pentru găurile negre.

Un sprijin suplimentar pentru existenţa găurilor negre a apărut în 1907 odată cu descoperirea de către o studentă de la Cambridge, Jocelyn Bell, a obiectelor din spaţiu care emiteau impulsuri regulate de unde radio. La început Bell şi conducătorul său ştiinţific, Anthony Hewish, au crezut că poate au luat contact cu civilizaţii extraterestre din galaxie! într-adevăr, la seminarul în care au anunţat descoperirea, îmi amintesc că au numit primele patru surse găsite LGM 1 – 4, LGM însemnând Micii omuleţi verzi" (Little Green Men). În cele din urmă însă ei şi toţi ceilalţi au ajuns la concluzia, mai puţin romantică, după care aceste obiecte care au primit denumirea de pulsari erau de fapt stele neutronice rotative care emiteau impulsuri de unde radio, datorită unei interacţii complicate între câmpurile lor magnetice şi materia înconjurătoare. Aceasta a reprezentat o veste proastă pentru scriitorii de western-uri spaţiale, dar foarte promiţătoare pentru puţinii dintre noi care credeau în acel timp în găurile negre: a fost prima dovadă pozitivă că stelele neutronice existau. O stea neutronică are o rază de circa şaisprezece kilometri, numai de câteva ori mai mare decât raza critică la care o stea devine o gaură neagră. Dacă o stea poate suferi un colaps spre o dimensiune atât de mică, se poate aştepta ca şi alte

stele să poată suferi un colaps spre o dimensiune şi mai mică şi să devină găuri negre.

Cum am putea spera să detectăm o gaură neagră dacă prin definiţie ea nu emite nicio lumină? Ar fi ca şi cum am căuta o pisică neagră într-o pivniţă întunecată. Din fericire, există o cale. Aşa cum arăta John Michell în lucrarea sa de pionierat din 1783, o gaură neagră îşi exercită forţa gravitaţională asupra obiectelor din apropiere. Astronomii au observat multe sisteme în care două stele se deplasează pe orbite una în jurul celeilalte, atrase una spre cealaltă de gravitaţie. Ei au mai observat sisteme în care există doar o stea vizibilă care se deplasează pe orbită în jurul unui companion nevăzut. Desigur, nu se poate conchide imediat că acest companion este o gaură neagră: poate fi pur şi simplu o stea care este prea slabă pentru a fi văzută. Totuşi, unele dintre aceste sisteme, ca acela numit Cygnus X-l sunt, de asemenea, surse puternice de raze X. Cea mai bună explicaţie pentru acest fenomen este că materia de la suprafaţa stelei vizibile a fost aruncată în afară. Când ea cade către companionul nevăzut, are o mişcare în spirală (aşa cum se scurge apa dintr-o baie) şi devine foarte fierbinte, emiţând raze X. Pentru ca acest mecanism să lucreze, obiectul nevăzut trebuie să fie foarte mic, ca o pitică albă, stea neutronică sau gaură neagră. Din orbita observată a stelei vizibile se poate determina masa cea mai mică posibilă a obiectului nevăzut. În cazul lui Cygnus X-l, aceasta era de şase ori masa soarelui, care, conform rezultatului lui Chandrasekhar este prea mare pentru ca obiectul nevăzut să fie o pitică albă. El are, de asemenea, o masă prea mare pentru a fi o stea neutronic. Prin urmare, se pare că trebuie să fie o gaură neagră.

Există şi alte modele care explică Cygnus X-l, care nu includ o gaură neagră, dar ele sunt cam forţate. O gaură neagră pare a fi singura explicaţie naturală a observaţiilor. În ciuda acestui fapt eu am făcut pariu cu Kip Thorne de la Institutul de Tehnologie din California că, de fapt, Cygnus X-l nu conţine o gaură neagră! Aceasta este ca o poliţă de

asigurare pentru mine. Am lucrat foarte mult la găurile negre şi totul ar fi fost o pierdere dacă ar fi reieşit că găurile negre nu există. Dar, în acel caz, aş avea consolarea că am câştigat pariul, care mi-ar aduce un abonament pe patru ani la revista *Private Eye*. Dacă găurile negre există, Kip va obţine un abonament pe un an la *Penthouse*. În 1975, când am făcut pariul, eram 80% siguri că Cygnus era o gaură neagră. Acum aş spune că suntem 95% siguri, dar pariul nu s-a terminat încă.

De asemenea, avem acum dovada existenţei câtorva găuri negre în sisteme ca Cygnus X-l din galaxia noastră şi din două galaxii învecinate numite Norii lui Magellan. Totuşi, numărul găurilor negre este aproape sigur mult mai mare; în lunga istorie a universului, multe stele trebuie să-şi fi ars tot combustibilul nuclear şi să fi suferit un colaps. Numărul găurilor negre poate fi mult mai mare chiar decât numărul stelelor vizibile, care reprezintă circa o sută de miliarde numai în galaxia noastră. Atracţia gravitaţională suplimentară a unui număr atât de mare de găuri negre ar putea explica de ce galaxia noastră se roteşte cu viteza pe care o are: masa stelelor vizibile este insuficientă pentru a explica aceasta. Avem, de asemenea, unele dovezi că în centrul galaxiei noastre există o gaură neagră mult mai mare, cu o masă de circa o sută de mii de ori mai mare decât aceea a soarelui. Stelele din galaxie care se apropie prea mult de această gaură neagră vor fi sfărâmate de diferenţa dintre forţele gravitaţionale de pe feţele apropiată şi îndepărtată. Rămăşiţele lor şi gazul aruncat de alte stele vor cădea spre gaura neagră. Ca şi în cazul lui Cygnus X-l, gazul se va deplasa pe o spirală spre interior şi se va încălzi, deşi nu aşa de mult ca în acel caz. El nu va ajunge destul de fierbinte pentru a emite raze X, dar ar putea explica sursa foarte compactă de unde radio şi raze infraroşii care se observă în centrul galactic.

Se crede că în centrul quasarilor există găuri negre similare, dar şi mai mari, cu mase de sute de milioane de ori mai mari decât masa soarelui. Materia care cade într-o astfel de gaură neagră supermasivă ar reprezenta singura

sursă de putere destul de mare pentru a explica enorma cantitate de energie pe care o emit aceste obiecte. Deplasarea în spirală a materiei în gaura neagră ar face ca aceasta să se rotească în aceeaşi direcţie, determinând crearea unui câmp magnetic asemănător cu cel al pământului. Particule cu energie foarte înaltă ar fi generate lângă gaura neagră de materia care cade înăuntru. Câmpul magnetic ar fi atât de puternic încât ar putea focaliza aceste particule în jeturi aruncate spre exterior de-a lungul axei de rotaţie a găurii negre, adică în direcţiile polilor săi nord şi sud. Astfel de jeturi sunt observate într-adevăr în mai multe galaxii şi quasari.

Se poate considera, de asemenea, cazul în care ac putea exista găuri negre cu mase mult mai mici decât cea a soarelui. Aceste găuri negre nu pot fi formate prin colaps gravitaţional, deoarece masele lor sunt sub masa limită Chandrasekhar: stelele cu masa atât de scăzută se pot susţine singure contra forţei de gravitaţie chiar atunci când şi-au epuizat combustibilul nuclear. Găurile negre cu masă scăzută se puteau forma numai dacă materia era comprimată la densităţi enorme de presiuni exterioare foarte mari. Aceste condiţii s-ar putea produce într-o bombă cu hidrogen foarte mare: fizicianul John Wheeler a calculat odată că dacă cineva ar lua toată apa grea din toate oceanele lumii, ar putea construi o bombă cu hidrogen care ar comprima materia în centru atât de mult încât s-ar crea o gaură neagră. (Desigur, nu ar mai rămâne nimeni să o observe!) o posibilitate mai practică este că astfel de găuri negre cu masă mică s-ar fi putut forma la presiunile şi temperaturile înalte ale universului foarte timpuriu. Găurile negre s-ar fi format numai dacă universul timpuriu nu ar fi fost neted şi uniform, deoarece numai o regiune mică ce era mai densă decât media putea fi comprimată astfel pentru a forma o gaură neagră. Dar noi ştim că trebuie să fi existat unele neregularităţi, deoarece altfel materia din univers ar mai fi încă şi acum distribuită perfect uniform, în loc de a fi grupată în stele şi galaxii.

Faptul că neregularităţile necesare pentru explicarea

stelelor şi galaxiilor au dus sau nu la formarea unui număr semnificativ de găuri negre „primordiale” depinde evident de detalii ale condiţiilor din universul timpuriu. Astfel, dacă am putea determina cât de multe găuri negre primordiale există acum, am învăţa o mulţime despre etapele foarte timpurii ale universului. Găurile negre primordiale cu mase mai mari decât un miliard de tone (masa unui munte mare) ar putea fi detectate numai prin influenţa lor gravitaţională asupra celeilalte materii, vizibile, sau asupra expansiunii universului. Totuşi, aşa cum vom vedea în următorul capitol, în realitate, găurile negre nu sunt deloc negre: ele strălucesc ca un corp fierbinte şi cu cât sunt mai mici cu atât strălucesc mai mult. Astfel, paradoxal, rezultă că găurile negre mai mici pot fi mai uşor detectate decât cele mari!

7. Găurile negre nu sunt aşa de negre

Înainte de 1970, cercetarea mea asupra relativităţii generalizate se concentra în principal asupra problemei dacă existase sau nu o singularitate Big Bang. Totuşi, într-o seară de noiembrie a acelui an, la scurtă vreme după naşterea fiicei mele, Lucy, pe când mă duceam la culcare am început să mă gândesc la găurile negre. Invaliditatea mea face ca această operaţie să fie un proces lent, astfel că aveam destul timp. În acel timp nu exista o definiţie precisă a punctelor din spaţiu-timp care se găsesc în interiorul şi în afara unei găuri negre. Discutasem deja cu Roger Penrose ideea de a defini o gaură neagră ca un set de evenimente din care nu era posibilă ieşirea la o distanţă mare, definiţie care acum este general acceptată. Ea înseamnă că limita găurii negre, orizontul evenimentului, este formată din traiectoriile în spaţiu-timp ale razelor de lumină care nu mai pot ieşi din gaura neagră, rămânând pentru totdeauna la marginea ei (fig. 7.1). Este cam ca atunci când fugiţi de poliţie şi reuşiţi să păstraţi doar un pas înaintea ei, dar nu puteţi să scăpaţi definitiv!

Odată am realizat că traiectoriile acestor raze de lumină nu s-ar putea apropia niciodată una de alta. Dacă s-

ar apropia, ele ar trebui în cele din urmă să intre una în alta. Ar fi ca şi când aţi întâlni pe cineva care fuge de polipe în direcţie opusă aţi fi prinşi amândoi! (Sau, în acest caz, ar cădea într-o gaură neagră.) Dar, dacă aceste raze de lumină ar fi înghiţite de gaura neagră, atunci ele nu ar fi putut fi la limita găurii negre. Astfel, traiectoriile razelor de lumină în orizontul evenimentului trebuie să fie întotdeauna paralele sau divergente una faţă de alta. Un alt mod de a vedea aceasta este că orizontul evenimentului, limita găurii negre, este marginea unei umbre umbra unui sfârşit iminent. Dacă priviţi umbra făcută de o sursă aflată la mare distanţă, cum este soarele, veţi vedea că razele de lumină de la margine nu se apropie unele de altele.

Dacă razele de lumină care formează orizontul evenimentului, limita găurii negre, nu se pot apropia niciodată una de alta, aria orizontului evenimentului poate rămâne aceeaşi sau se poate mări cu timpul dar nu se poate micşora niciodată deoarece aceasta ar însemna că cel puţin unele dintre razele de lumină de la limită ar trebui să se apropie una de alta. De fapt, aria ar creşte ori de câte ori în gaura neagră ar cădea materie sau radiaţie (fig. 7.2). Or, dacă două găuri negre s-ar ciocni şi s-ar uniformând o singură gaură neagră, orizontul evenimentului găurii negre finale ar fi mai mare decât sau egal cu suma ariilor orizonturilor evenimentului găurilor negre iniţiale (fig. 7.3). Această proprietate de a nu se micşora a ariei orizontului evenimentului a introdus o restricţie importantă asupra comportării posibile a găurilor negre. Am fost atât de surescitat de descoperirea mea că nu am prea dormit în noaptea aceea. A doua zi l-am sunat pe Roger Penrose. El a fost de acord cu mine. Cred, de fapt, că el îşi dăduse seama de această proprietate a ariei. Totuşi, el folosise o definiţie uşor diferită a unei găuri negre. El nu realizase că limitele unei găuri negre, conform celor două definiţii, ar fi aceleaşi şi deci la fel ar fi şi arii1 e lor, cu condiţia ca gaura neagră să se stabilizeze la o stare care nu se modifică în timp.

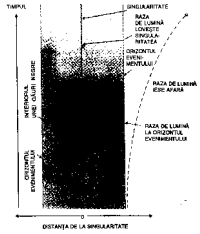
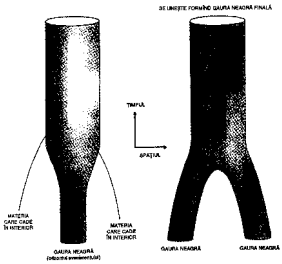


FIGURA 7.1



FIGURILE 7.2 și 7.3

Comportarea fără micşorare a ariei unei găuri negre amintea foarte mult de comportarea unei mărimi fizice numită entropie, care măsoară gradul de dezordine al unui sistem. Se ştie din experienţă că dezordinea tinde să crească dacă lucrurile sunt lăsate în voia lor. (Cineva trebuie numai să înceteze de a mai face reparaţii în jurul casei pentru a vedea aceasta!) Se poate crea ordine din dezordine (de exemplu, se poate zugrăvi casa) dar aceasta necesită cheltuirea unui efort sau a unei energii şi astfel scade cantitatea disponibilă de energie ordonată.

O enunţare exactă a acestei idei este a doua lege a termodinamicii. Ea afirmă că entropia unui sistem izolat creşte întotdeauna şi că atunci când se unesc două sisteme, entropia sistemului combinat este mai mare decât suma entropiilor sistemelor individuale. De exemplu, să considerăm un sistem de molecule de gaz dintr-o cutie. Moleculele pot fi considerate ca mici bile de biliard care se ciocnesc încontinuu una de alta şi de pereţii cutiei. Cu cât este mai mare temperatura gazului, cu atât se mişcă mai repede moleculele gazului şi cu atât mai frecvent şi mai

tare se vor ciocni cu pereţii cutiei, cu atât mai mare va fi presiunea exercitată de ele asupra pereţilor. Să presupunem că iniţial toate moleculele sunt limitate printr-un perete la partea stângă a cutiei. Dacă apoi peretele se scoate, moleculele vor tinde să se împrăştie şi să ocupe ambele jumătăţi ale cutiei. La un anumit moment ulterior ele ar putea, datorită întâmplării, să se găsească toate în jumătatea dreaptă sau înapoi în jumătatea stângă, dar este mult mai probabil că vor exista numere aproximativ egale în cele două jumătăţi. O astfel de stare este mai puţin ordonată, sau mai dezordonată decât starea iniţială în care toate moleculele erau într-o jumătate de cutie. Prin urmare, se spune că entropia gazului a crescut. În mod asemănător, să presupunem că se începe cu două cutii, una care conţine molecule de oxigen şi cealaltă cu molecule de azot. Dacă se unesc cutiile şi se elimină peretele intermediar, moleculele de oxigen şi de azot vor începe să se amestece. La un moment ulterior cea mai probabilă stare ar fi un amestec destul de uniform de molecule de oxigen şi azot în ambele cutii. Această stare ar fi mai puţin ordonată şi deci ar avea o entropie mai mare decât starea iniţială a celor două cutii separate.

A doua lege a termodinamicii are un statut diferit de acela al celorlalte legi ale ştiinţei, cum este legea gravitaţiei a lui Newton, de exemplu, deoarece ea nu este valabilă întotdeauna, doar în marea majoritate a cazurilor. Probabilitatea ca toate moleculele de gaz din prima noastră cutie să se găsească într-o jumătate de cutie la un moment ulterior este de unu la multe milioane de milioane, dar acest lucru se poate întâmpla. Totuşi, dacă cineva are o gaură neagră în apropiere, pare a fi un mod mai uşor de a încălca legea a doua: trebuie numai să se arunce în gaura neagră materie cu entropie mare, cum ar fi o cutie cu gaz. Entropia totală a materiei din afara găurii negre ar scădea. Desigur, se poate încă spune că entropia totală, inclusiv entropia din interiorul găurii negre, nu a scăzut dar, deoarece nu se poate privi în interiorul găurii negre, nu putem spune cât de multă entropie are materia din

interior. Deci, ar fi bine dacă ar exista o caracteristică a găurii negre prin care observatorii din afara găurii negre să poată spune care este entropia sa, şi care ar creşte ori de câte ori în gaura neagră cade materie care transportă entropie. Ca urmare a descoperirii descrise mai sus, că aria orizontului evenimentelor creşte atunci când în gaura neagră cade materie, un student în cercetare de la Princeton numit Jacob Bekenstein a sugerat că aria orizontului evenimentelor era o măsură a entropiei găurii negre. Atunci când în gaura neagră cade materie care transportă entropie, aria orizontului său va creşte, astfel că suma entropiilor materiei din afara găurii negre şi a ariei orizonturilor nu s-ar micşora niciodată.

Această ipoteză părea să împiedice încălcarea legii a doua a termodinamicii în majoritatea situaţiilor. Totuşi, avea un defect fatal. Dacă o gaură neagră are entropie, atunci ea trebuie să aibă şi temperatură. Dar un corp cu o anumită temperatură trebuie să emită radiaţii cu o anumită rată. Este un lucru bine cunoscut că dacă cineva încălzite un vătrai în foc el străluceşte incandescent şi emite radiaţii, dar şi corpurile cu temperaturi mai scăzute emit radiaţii; acest lucru nu se observă în mod normal, deoarece cantitatea lor este destul de mică. Această radiaţie este necesară pentru a preveni încălcarea legii a doua. Astfel, găurile negre trebuie să emită radiaţii. Dar chiar prin definiţie, se presupune că găurile negre sunt obiecte care nu emit nimic. Prin urmare se pare că aria orizontului evenimentelor unei găuri negre nu poate fi privită ca entropia sa. În 1972 am scris o lucrare cu Brandon Carter şi un coleg american, Jim Bardeen, în care am arătat că deşi erau foarte multe asemănări între entropie şi aria orizontului evenimentului, există această dificultate aparent fatală. Trebuie să admit că am scris această lucrare în parte datorită faptului că eram iritat de

Bekenstein care, simţeam, utilizase în mod greşit descoperirea mea privind creşterea ariei orizontului evenimentului. Totuşi, în cele din urmă a reieşit că el era esenţialmente corect, deşi într-un mod la care desigur nu

se aştepta.

În septembrie 1973, în timp ce vizitam Moscova, am discutat despre găurile negre cu doi experţi sovietici Jakov Zeldovici şi Alexandr Starobinsky. Ei m-au convins că, în conformitate cu principiul de incertitudine din mecanica cuantică, corpurile negre rotitoare trebuie să creeze şi să emită particule. Am crezut argumentele lor din punct de vedere fizic, dar nu mi-a plăcut modul matematic în care au calculat emisia. Prin urmare, am început să elaborez o tratare matematică mai bună, pe care am descris-o la un seminar ţinut la Oxford la sfârşitul lui noiembrie 1973. În acel moment nu făcusem calculele pentru a afla cât de mult s-ar emite în realitate. Mă aşteptam să descopăr doar radiaţia găurilor negre rotitoare pe care Zeldovici şi Starobinsky o preziseseră. Totuşi, când am făcut calculul, am descoperit, spre surpriza şi iritarea mea, că şi găurile negre nerotitoare ar trebui aparent să creeze şi să emită particule cu o rată staţionară. La început am crezut că această emisie arăta că una din aproximaţiile pe care le-am utilizat nu era valabilă. Mi-era teamă că dacă Bekenstein află aceasta, ar putea să o utilizeze ca un argument suplimentar pentru a-şi susţine ideile privind entropia găurilor negre, care mie tot nu-mi plăcea. Totuşi, cu cât mă gândeam mai mult la ea, cu atât mai mult părea că aproximaţiile ar trebui să fie valabile într-adevăr. Dar ceea ce m-a convins în cele din urmă că emisia era reală a fost faptul că spectrul particulelor emise era exact acela care ar fi fost emise un corp fierbinte şi că gaura neagră emitea particule cu exact rata corectă pentru a împiedica încălcarea legii a doua. De atunci calculele au fost repetate în mai multe forme de alte persoane. Toate confirmă că o gaură neagră trebuie să emită particule şi radiaţie ca şi când ar fi un corp fierbinte cu o temperatură care depinde numai de masa găurii negre: cu cât este masa mai mare, cu atât este mai scăzută temperatura.

Cum este posibil să rezulte că o gaură neagră emite particule când noi ştim că nimic nu poate scăpa din orizontul evenimentului său? Teoria cuantică ne dă

răspunsul: particulele nu vin din gaura neagră, ci din spaţiul gol care se află imediat în afara orizontului găurii negre! Putem înţelege acest lucru în felul următor: Ceea ce noi considerăm un spaţiu „gol” nu poate fi complet gol deoarece aceasta ar însemna că toate câmpurile, cum sunt câmpurile gravitaţional şi electromagnetic, ar trebui să fie exact zero. Totuşi, valoarea unui câmp şi rata sa de modificare în timp sunt ca poziţia şi viteza unei particule: principiul de incertitudine arată că, cu cât se cunoaşte mai precis una din aceste cantităţi, cu atât mai puţin precis se poate cunoaşte cealaltă. Astfel, în spaţiul liber câmpul nu poate fi exact zero, deoarece atunci el ar trebui să aibă atât o valoare precisă (zero), cât şi o rată de modificare precisă (zero). În valoarea câmpului trebuie să existe o valoare minimă a incertitudinii sau fluctuaţiei cuantice. Se pot considera aceste fluctuaţii ca perechi de particule de lumină sau gravitaţie care apar împreună în acelaşi timp, se depărtează şi apoi se unesc din nou şi se anihilează reciproc. Aceste particule sunt particule virtuale ca particulele care transportă forţa gravitaţională a soarelui: spre deosebire de particulele reale, ele nu pot fi observate direct cu un detector de particule. Totuşi, efectele lor indirecte, cum sunt modificări mici ale energiei orbitelor electronilor din atomi, se pot măsura şi concordă cu prezicerile teoretice cu un grad de precizie remarcabil. Principiul de incertitudine mai prezice că vor exista perechi virtuale similare de particule de materie cum sunt electronii şi quarcii. În acest caz însă, un membru al perechii va fi o particulă şi celălalt o antiparticulă (antiparticulele de lumină şi gravitaţie sunt aceleaşi ca particulele).

Deoarece energia nu poate fi creată din nimic, unu1 din partenerii dintr-o pereche particulă/antiparticulă va avea energie pozitivă şi celălalt partener energie negativă. Cel cu energie negativă este condamnat să fie o particulă virtuală de viaţă scurtă, deoarece în situaţii normale particulele reale au întotdeauna energie pozitivă. Prin urmare trebuie să-şi caute partenerul şi să se anihileze

reciproc. Totuşi, o particulă reală în apropierea unui corp masiv are mai puţină energie decât dacă s-ar afla la mare distanţă, deoarece ar fi nevoie de energie pentru a ridică-o la distanţă împotriva atracţiei gravitaţionale a corpului. În mod normal, energia particulei este încă pozitivă, dar câmpul gravitaţional din interiorul unei găuri negre este atât de puternic încât chiar o particulă reală poate avea acolo energie negativă. Prin urmare, este posibil, în prezenţa unei găuri negre, ca particula virtuală cu energie negativă să cadă în gaura neagră şi să devină o particulă sau antiparticulă reală. În acest caz ea nu mai trebuie să se anihileze cu partenerul său. şi partenerul său abandonat poate cădea în gaura neagră. Sau, având energie pozitivă, el poate scăpa din vecinătatea găurii negre ca o particulă sau antiparticulă reală (fig. 7.4). Pentru un observator aflat la distanţă, el va părea că a fost emis din gaura neagră. Cu cât este mai mică gaura neagră, cu atât este mai scurtă distanţa pe care particula cu energie negativă va trebui să o parcurgă înainte de a deveni o particulă reală şi astfel cu atât va fi mai mare rata de emisie şi temperatura aparentă a găurii negre.

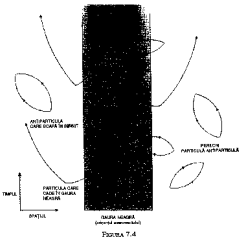


Figura 7.4

Energia pozitivă a radiaţiei energetice ar fi echilibrată de o curgere a particulelor de energie negativă în gaura neagră. Prin ecuaţia lui Einstein $E = mc^2$ (unde E este energia, în este masa şi e este viteza luminii), energia este proporţională cu masa. Prin urmare, o curgere a energiei negative în gaura neagră reduce masa sa. Deoarece gaura neagră pierde masă, aria orizontului evenimentului devine mai mică, dar această descreştere a

entropiei găurii negre este mai mult decât compensată de entropia radiaţiei emise, astfel că legea a doua nu este încălcată niciodată.

O gaură neagră cu masa de câteva ori mai mare decât masa soarelui ar avea o temperatură de numai o zecime de milionime de grad peste zero absolut. Aceasta este mult mai mică decât temperatura radiaţiilor de microunde care umplu universul (circa 2, 7° peste zero absolut), astfel că găurile negre ar emite chiar mai puţin decât absorb. Dacă universul este destinat să se extindă mereu, temperatura radiaţiilor de microunde va descreşte în cele din urmă până la mai puţin decât aceea a unei găuri negre de acest fel, care va începe să piardă masă. Dar, chiar şi atunci, temperatura sa ar fi atât de scăzută încât ar trebui un milion de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de ani (1 urmat de şaizeci şi şase de zerouri) pentru a se evapora complet. Acesta este un timp mult mai mare decât vârsta universului, care este de numai zece sau douăzeci de miliarde de ani (1 sau 2 urmat de zece zerouri). Pe de altă parte, aşa cum s-a menţionat în capitolul 6, puteau exista găuri negre primordiale cu masa mult mai mică decât dacă s-ar fi format prin colapsul neregularităţilor din etapele foarte timpurii ale universului. Astfel de găuri negre ar avea o temperatură mult mai mare şi ar emite radiaţie cu o rată mult mai mare. O gaură neagră primordială cu o masă iniţială de un miliard de tone ar avea un timp de viaţă aproximativ egal cu vârsta universului. Găurile negre primordiale cu masele iniţiale mai mici decât această valoare ar fi deja complet evaporate, dar acelea cu mase puţin mai mari ar emite încă radiaţii sub formă de raze X şi raze gamma. Aceste raza X şi gamma sunt ca undele de lumină, dar cu lungimea de undă mult mai mică. Astfel de găuri merită cu greu calificativul de negre: în realitate ele sunt alb incandescent şi emit energie cu o rază de circa zece mii de megawaţi.

Dacă s-ar putea valorifica puterea sa, o gaură neagră

de acest fel ar putea acţiona zece centrale electrice mari. Totuşi, acest lucru ar fi dificil: gaura neagră ar avea masa unui munte comprimată în mai puţin de a milioana milionime dintr-un centimetru, dimensiunea nucleului unui atom! Dacă am avea o gaură neagră de acest fel la suprafaţa pământului, nu ar exista niciun mijloc care s-o oprească să cadă prin podea spre centrul pământului. Ea ar oscila prin pământ înainte şi înapoi, până ce, în cele din urmă, s-ar stabiliza în centru. Astfel că singurul loc unde se poate pune o astfel de gaură neagră în care să se poată utiliza energia pe care o emite ar fi pe o orbită în jurul pământului şi singurul mod în care poate fi pusă pe orbită în jurul pământului ar fi prin remorcarea unei mase mari în faţa sa, ca un morcov în faţa unui măgar. Aceasta nu sună ca o propunere foarte practică, cel puţin nu în viitorul apropiat.

Dar, chiar dacă nu putem valorifica emisia acestor găuri negre primordiale, care sunt şansele noastre de a le observa? Putem căuta razele gamma pe care le emit găurile negre primordiale în majoritatea vieţii lor. Deşi radiaţia celor mai multe ar fi foarte slabă deoarece ele sunt foarte îndepărtate, totalul radiaţiilor lor ar putea fi detectabil. Într-adevăr, observăm un astfel de fond de raze gamma: figura 7.5 arată modul în care intensitatea observată diferă la diferite frecvenţe (numărul de unde pe secundă). Totuşi, acest fond ar fi putut să fie generat, şi probabil a fost, de alte procese decât găurile negre primordiale. Linia întreruptă din figura 7.5 arată modul în care ar varia intensitatea cu frecvenţa pentru razele gamma emise de găurile negre primordiale, dacă ar fi în medie 300 pe an-lumină cub. Această limită înseamnă că găurile negre primordiale ar fi putut forma cel mult o milionime din materia din univers.

Găurile negre primordiale fiind atât de puţine, ar părea puţin probabil să existe una destul de aproape de noi pentru a o observa ca sursă individuală de raze gamma. Dar, deoarece gravitaţia ar atrage găurile negre primordiale spre orice materie, ele trebuie să fie mult mai

multe m şi în jurul galaxiilor. Astfel, deşi fondul de raze gamma ne spune că nu pot exista în medie mai mult de 300 de găuri negre primordiale pe an-lumină cub, nu ne spune nimic despre cât de multe pot fi în galaxia noastră. Dacă ar fi, să spunem, de un milion de ori mai multe decât cifra de mai sus, atunci gaura neagră cea mai apropiată de noi ar fi probabil la o distanţă de circa un miliard de kilometri, sau cam tot atât de departe ca şi Pluto, cea mai îndepărtată planetă cunoscută. şi la această distanţă ar fi foarte dificil să se detecteze emisia constantă a unei găuri negre, chiar dacă ar fi de zece mii de megawaţi. Pentru a observa o gaură neagră primordială ar trebui să se detecteze câteva cuante de raze gamma care vin din aceeaşi direcţie, într-un interval de timp rezonabil, de exemplu, o săptămână. Altfel, ele pot reprezenta pur şi simplu o parte din fond. Dar principiul cuantic al lui Planck ne spune că fiecare cuantă de raze gamma are o energie foarte înaltă, astfel că pentru a radia chiar zece mii de megawaţi nu sunt necesare multe cuante. Şi pentru a observa aceste câteva cuante ce vin de la o distanţă ca aceea la care se găseşte Pluto, ar fi necesar un detector de raze gamma mai mare decât oricare detector construit până acum. În plus, detectorul ar trebui să fie în spaţiu, deoarece razele gamma nu pot străbate atmosfera.

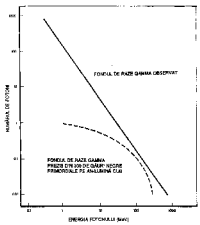


Figura 7.5

Desigur, dacă o gaură neagră aflată la distanţa la care se găseşte Pluto ar ajunge la sfârşitul vieţii sale şi ar exploda, emisia exploziei finale ar fi uşor de detectat. Dar, dacă gaura neagră emite de zece sau douăzeci de miliarde de ani, şansa de a ajunge la un sfârşit în următorii câţiva

ani, în loc de câteva milioane de ani în trecut sau în viitor, este într-adevăr foarte mică! Astfel, pentru a avea o şansă rezonabilă de a vedea o explozie înainte ca fondurile pentru cercetare să se termine, ar trebui să se găsească o cale de detectare a exploziei aflate în interiorul unei distanţe de un an lumină şi încă ar exista problema unui mare detector de raze gamma pentru a observa cele câteva cuante de raze gamma provenite din explozie. În acest caz însă, nu ar fi necesar să se determine că toate cuantele vin din aceeaşi direcţie: ar fi destul să se observe că ele au sosit toate într-un interval de timp, pentru a avea destulă încredere că ele provin din aceeaşi explozie.

Un detector de raze gamma capabil să depisteze găurile negre primordiale este întreaga atmosferă a pământului. În orice caz, noi nu putem construi un detector mai mare!) Atunci când o cuantă de raze gamma cu energie înaltă loveşte atomii atmosferei noastre, ea creează perechi de electroni şi pozitroni (antielectroni). Când aceştia lovesc alţi atomi ei creează la rândul lor mai multe perechi de electroni şi pozitroni, astfel că se obţine aşa-numita cascadă de electroni. Rezultatul este o formă de lumină numită radiaţia Cerenkov. Prin urmare, se pot detecta impulsurile de raze gamma căutând scânteieri de lumină pe cerul nopţii. Desigur, există şi alte fenomene care pot produce scânteieri pe cer, cum sunt fulgerele şi reflexiile luminii solare pe sateliţi şi resturi de sateliţi în mişcare pe orbită. Impulsurile de raze gamma se pot deosebi de aceste efecte observând scânteierile simultan din două locuri îndepărtate unul de celălalt. O astfel de cercetare a fost efectuată în Arizona de doi oameni de ştiinţă din Dublin, Neil Porter şi Trevor Weekes, folosind telescoape. Ei au găsit mai multe scânteieri, dar niciuna care să poată fi atribuită sigur impulsurilor de raze gamma provenite de la găurile negre primordiale.

Chiar dacă rezultatele căutării găurilor negre primordiale sunt negative, ele ne dau, totuşi, informaţii importante despre etapele foarte timpurii ale universului. Dacă universul timpuriu era haotic sau neregulat sau dacă

presiunea materiei era scăzută, ar fi fost de aşteptat să se producă mai multe găuri negre primordiale decât limita stabilită deja de observaţiile noastre asupra fondului de raze gamma. Numai dacă universul timpuriu era foarte omogen şi izotrop, cu o presiune înaltă se poate explica absenţa unui număr mai mare de găuri negre primordiale observate.

*
* * *

Ideea radiaţiilor ce provin de la găurile negre a fost primul exemplu de prezicere care depinde în mod esenţial de ambele mari teorii ale acestui secol, relativitatea generalizată şi mecanica cuantică. Iniţial, ea a stârnit multe opoziţii deoarece deranja punctul de vedere existent: „Cum poate o gaură neagră să emită ceva?" Atunci când am anunţat prima oară rezultatele calculelor mele la o conferinţă la Laboratorul Rutherford-Appleton de lângă Oxford, am fost întâmpinat cu neîncredere. La sfârşitul comunicării mele preşedintele şedinţei, John G. Taylor de la Kings Collège, Londra, a pretins că totul era o prostie. El a scris chiar o lucrare pe această temă. Totuşi, în cele din urmă majoritatea oamenilor, inclusiv John Taylor au ajuns la concluzia că găurile negre trebuie să radieze ca şi corpurile fierbinţi dacă ideile noastre privind relativitatea generalizată şi mecanica cuantică sunt corecte. Astfel, chiar dacă nu am reuşit să găsim o gaură neagră primordială, există un acord destul de general că dacă am fi reuşit, ea ar fi trebuit să emită o mulţime de raze gamma şi raze X.

Existenţa radiaţiei găurilor negre pare să însemne că colapsul gravitaţional nu este atât de final şi ireversibil cum am crezut odată. Dacă un astronaut cade într-o gaură neagră, masa acesteia va creşte, dar în cele din urmă energia echivalentă masei suplimentare va fi returnată universului sub formă de radiaţii. Astfel, într-un sens, astronautul va fi „reciclat". Ar fi totuşi un mod

nesatisfăcător de imortalitate, deoarece orice noţiune personală despre timp va ajunge la sfârşit atunci când astronautul este distrus în interiorul găurii negre! Chiar şi tipurile de particule care ar fi emise în cele din urmă de gaura neagră ar fi în general diferite de acelea care formau astronautul: singura caracteristică a astronautului care ar supravieţui ar fi masa sau energia sa.

Aproximaţiile pe care le-am folosit pentru obţinerea emisiei găurilor negre ar trebui să acţioneze bine atunci când gaura neagră are o masă mai mare decât o fracţiune dintr-un gram. Totuşi, ele vor da greş la sfârşitul vieţii găurii negre când masa sa devine foarte mică. Rezultatul cel mai probabil pare a fi că gaura neagră pur şi simplu va dispărea, cel puţin din regiunea noastră a universului, luând cu ea astronautul şi orice singularitate care ar putea fi în ea, dacă într-adevăr există una. Aceasta a fost prima indicaţie că mecanica cuantică poate elimina singularităţile prezise de relativitatea generalizată. Totuşi, metodele pe care eu şi alţii le-am utilizat în 1974 nu au putut să răspundă întrebărilor cum este aceea dacă singularităţile s-ar produce în gravitaţia cuantică. Prin urmare; din 1975 am început să elaborez o abordare mai puternică a gravitaţiei cuantice bazată pe ideea lui Richard Feynman a sumei istoriilor. Răspunsurile pe care această abordare le sugerează pentru originea şi soarta universului şi elementelor sale, cum sunt astronauţii, vor fi prezentate în următoarele două capitole. Vom vedea că, deşi principiul de incertitudine introduce limitări asupra preciziei tuturor prezicerilor noastre, el poate elimina, în acelaşi timp, lipsa fundamentală de predictibilitate care se produce la o singularitate a spaţiu-timpului.

8. Originea şi soarta universului

Teoria generală a relativităţii a lui Einstein prezicea că spaţiu-timpul a început la singularitatea Big Bang şi ar ajunge la sfârşit la singularitatea Big Crunch[2] (dacă întreg

2 Marea Implozie

universul ar suferi din nou un colaps) sau la o singularitate în interiorul unei găuri negre (dacă o regiune locală, cum este o stea, ar suferi un colaps). Orice materie care ar cădea în gaură ar fi distrusă la singularitate, iar în afară ar continua să se simtă doar efectul gravitaţional al masei sale. Pe de altă parte, atunci când sunt luate în considerare efectele cuantice, părea că masa sau energia materiei s-ar reîntoarce în cele din urmă la restul universului şi că gaura neagră, împreună cu singularitatea din interiorul său s-ar evapora şi, în final, ar dispărea. Ar putea avea mecanica cuantică un efect tot atât de dramatic asupra singularităţilor Big Bang şi Big Crunch? Ce se întâmplă în realitate în etapele foarte timpurii sau târzii ale universului, când câmpurile gravitaţionale sunt atât de puternice încât efectele cuantice nu pot fi ignorate? Are universul, de fapt, un început sau un sfârşit? Şi dacă da, cum arată ele?

Prin anii 1970 studiam în principal găurile negre, dar în 1981 interesul meu în ceea ce priveşte originea şi soarta universului s-a redeşteptat când am ascultat o conferinţă asupra cosmologiei, organizată de iezuiţi la Vatican. Biserica Catolică a făcut o mare greşeală cu Galilei când a încercat să supună legii o problemă de ştiinţă, declarând că soarele se mişcă în jurul pământului. Acum, după mai multe secole, ea a hotărât să invite mai mulţi experţi cu care să se consulte în probleme de cosmologie. La sfârşitul conferinţei participanţii au avut o audienţă la Papă. El ne-a spus că era bine să se studieze evoluţia universului după Big Bang, dar nu ar trebui să facem cercetări în ceea ce priveşte Big Bang-ul însuşi deoarece acela a fost momentul Creaţiei şi deci lucrul Domnului. Am fost bucuros atunci că el nu cunoştea subiectul comunicării pe care tocmai o ţinusem la conferinţă posibilitatea ca spaţiu-timpul să fie finit dar să nu aibă limite, ceea ce înseamnă că el nu a avut un început, un moment al Creaţiei. Nu doream să am soarta lui Galilei, cu care împărtăşesc un sentiment de solidaritate, în parte datorită coincidenţei de a mă fi născut la exact 300 de ani după moartea sa!

Pentru a explica ideile pe care eu şi alţii le aveam despre modul în care mecanica cuantică poate afecta originea şi soarta universului, este necesar mai întâi să fie înţeleasă istoria general acceptată a universului, conform cu ceea ce se cunoaşte sub numele de „modelul Big Bang fierbinte”. Aceasta presupune că universul este descris înapoi până la Big Bang de un model Friedmann. În aceste modele se găseşte că atunci când universul se extinde, materia sau radiaţia din el se răcesc. (Atunci când universul îşi dublează mărimea, temperatura sa scade la jumătate.) Deoarece temperatura este o măsură a energiei (sau vitezei) medii a particulelor, această răcire a universului ar avea un efect important asupra materiei din el. La temperaturi foarte înalte, particulele s-ar mişca atât de repede încât ele ar putea scăpa de orice atracţie dintre ele datorată forţelor nucleare sau electromagnetice, dar atunci când se răcesc ar fi de aşteptat ca particulele care se atrag reciproc să înceapă să se grupeze. Mai mult, chiar şi tipurile de particule care există în univers ar depinde de temperatură. La temperaturi destul de înalte, particulele au o energie atât de mare încât ori de câte ori se ciocnesc s-ar produce multe perechi particulă/antiparticulă diferite şi deşi unele din aceste particule s-ar anihila prin ciocnirea cu antiparticule, ele s-ar produce mai repede decât s-ar putea anihila. Totuşi, la temperaturi mai joase, când particulele care se ciocnesc au mai puţină energie, perechile particulă/antiparticulă s-ar produce mai lent şi anihilarea ar deveni mai rapidă decât producerea.

Chiar la Big Bang, se crede că universul avea dimensiunea zero şi astfel era infinit de fierbinte. Dar pe măsură ce universul se extindea, temperatura radiaţiei scădea. O secundă după Big-Bang, ea ar fi scăzut la circa zece miliarde de grade. Aceasta este de circa o mie de ori mai mare decât temperatura din centrul soarelui, dar temperaturi atât de înalte se ating în exploziile bombelor H. În acest moment universul ar fi conţinut în majoritate fotoni, electroni şi neutrini (particule extrem de uşoare care sunt afectate numai de interacţiile slabe şi de

gravitaţie) şi antiparticulele lor, împreună cu protoni şi neutroni. Când universul continua să se extindă temperatura continua să scadă, rata cu care perechile electron/antielectron erau produse în ciocniri ar fi scăzut sub rata la care erau distruşi prin anihilare. Astfel, majoritatea electronilor şi antielectronilor s-ar fi anihilat reciproc producând mai mulţi fotoni, rămânând doar câţiva electroni. Totuşi, neutrinii şi antineutrinii nu s-ar fi anihilat reciproc, deoarece aceste particule interacţionează foarte slab între ele şi cu alte particule. Astfel, ele pot exista şi astăzi. Dacă am putea să le observăm, aceasta ar reprezenta imaginea unei etape timpurii foarte fierbinţi a universului. Din nefericire, astăzi energiile lor ar fi prea scăzute pentru ca să le putem observa direct. Totuşi, dacă neutrinii nu sunt lipsiţi de masă, ei au o masă proprie mică; aşa cum a sugerat un experiment rusesc neconfirmat, realizat în 1981, am putea să-i detectăm indirect: ei ar putea fi o formă de „materie neagră”, ca aceea menţionată mai înainte, cu o atracţie gravitaţională suficientă pentru a opri expansiunea universului şi a determina colapsul său.

La circa o sută de secunde după Big Bang, temperatura ar fi scăzut la un miliard de grade, temperatura din interiorul celor mai fierbinţi stele. La această temperatură protonii şi neutronii nu ar mai avea energie suficientă pentru a scăpa de interactia interaţiei nucleare tari şi ar fi început să se combine producând nucleele atomului de deuteriu (hidrogenul greu), care conţine un proton şi un neutron. Nucleele de deuteriu s-au combinat apoi cu mai mulţi protoni şi neutroni formând nucleele de heliu, care conţin doi protoni şi doi neutroni, precum şi cantităţi mici din două elemente mai grele, litiu şi beriliu. Se poate calcula că în modelul Big Bang fierbinte circa un sfert din protoni şi neutroni ar fi fost convertiţi în nuclee de heliu, împreună cu o cantitate mică de hidrogen greu şi alte elemente. Neutronii rămaşi s-ar fi dezintegrat în protoni, care sunt nucleele atomilor de hidrogen obişnuit.

Această imagine a unei etape timpurii fierbinţi a universului a fost lansată pentru prima oară de savantul George Gamow într-o celebră lucrare scrisă în 1948 cu un student al său, Ralph Alpher. Gamow avea simţul umorului – el l-a convins pe savantul Hans Bethe să-şi adauge numele la lucrare pentru că lista de autori „Alpher, Bethe, Gamow" să semene cu primele litere din alfabetul grec alpha, beta, gamma, care erau foarte potrivite pentru o lucrare privind începutul universului! În această lucrare, ei au făcut o prezicere remarcabilă că radiaţia (în formă de fotoni) din etapele fierbinţi ale universului ar trebui să existe şi astăzi, dar având temperatura redusă la numai câteva grade peste zero absolut (273°C). Această radiaţie a fost descoperită de Penzías şi Wilson 1965. În timpul în care Alpher, Bethe şi Gamow îşi scriau lucrarea, nu se ştiau prea multe despre reacţiile nucleare ale protonilor şi neutronilor. Prezicerile făcute pentru proporţiile diferitelor elemente din universul timpuriu au fost deci destul de inexacte, dar aceste calcule au fost repetate în lumina unei cunoaşteri mai bune şi acum concordă foarte bine cu ceea ce observăm. În plus, este foarte greu să explicăm altfel de ce trebuie să fie atât de mult heliu în univers. Prin urmare, avem destulă încredere că aceasta este imaginea corectă, cel puţin mergând înapoi până la circa o secundă după Big Bang.

În timp de câteva ore de la Big Bang, producerea heliului şi a altor elemente s-ar fi oprit. Şi după aceea, în următorul milion de ani universul ar fi continuat să se extindă, fără a se întâmpla prea multe. În cele din urmă, o dată ce temperatura a scăzut la câteva mii de grade şi electronii şi nucleele nu mai aveau suficientă energie pentru a depăşi atracţia electromagnetică dintre ele, ei ar fi început să se combine formând atomii: Universul ca un întreg ar fi continuat să se extindă şi să se răcească, dar, în regiuni care erau puţin mai dense decât media, expansiunea ar fi fost încetinită de atracţia gravitaţională suplimentară. Aceasta ar opri în cele din urmă expansiunea în unele regiuni şi le-ar determina să producă

din nou colapsul. În timp ce se producea colapsul lor, atracţia gravitaţională a materiei din afara acestor regiuni le poate face să înceapă să se rotească uşor. Pe măsură ce regiunea colapsului devine mai mică, ea s-ar roti mai repede aşa cum patinatorii care se rotesc pe gheaţă, se rotesc mai repede dacă îşi ţin braţele strânse. În final, când regiunea a devenit destul de mică, ea s-ar roti destul de repede pentru a echilibra atracţia gravitaţională şi astfel s-au născut galaxiile rotitoare în formă de disc. Alte regiuni, care nu au început să se rotească, ar deveni obiecte de formă ovală, numite galaxii eliptice. În acestea, colapsul s-ar opri deoarece părţile individuale ale galaxiei s-ar roti pe orbită stabil în jurul centrului său, dar galaxia nu ar avea o rotaţie globală.

Pe măsură ce trece timpul, gazul de hidrogen şi heliu din galaxii s-ar rupe în nori mai mici care ar suferi un colaps sub propria lor gravitaţie. Când aceştia se contractă şi atomii din interior se ciocnesc unii cu alţii, temperatura gazului ar creşte, până ce, în final, el ar deveni destul de fierbinte pentru a începe reacţiile de fuziune nucleară. Acestea convertesc hidrogenul în mai mult heliu şi căldura degajată determină creşterea presiunii şi astfel oprirea contracţiei ulterioare a norilor. Ele rămân stabile în această stare un timp îndelungat ca stele asemănătoare soarelui nostru, care transformă hidrogenul în heliu şi radiază energia rezultantă sub formă de căldură şi lumină. Stelele mai masive ar trebui să fie mai fierbinţi pentru a echilibra atracţia lor gravitaţională mai puternică, determinând producerea atât de rapidă a reacţiilor nucleare de fuziune încât ele şi-ar epuiza hidrogenul doar într-o sută de milioane de ani. Atunci ele s-ar contracta uşor, pe măsură ce continuă să se încălzească, ar începe să transforme heliul în elemente mai grele cum sunt carbonul sau oxigenul. Aceasta însă nu ar elibera prea multă energie, astfel că s-ar produce o criză, aşa cum s-a arătat în capitolul despre găurile negre. Ce se întâmplă apoi nu este complet clar, dar se pare că regiunile centrale ale stelei ar suferi un colaps spre o stare foarte densă, cum

este o stea neutronică sau o gaură neagră. Regiunile exterioare ale stelei pot izbucni uneori într-o explozie teribilă numită supernovă, care ar lumina toate celelalte stele din galaxia sa. Unele din elementele mai grele produse spre sfârşitul vieţii stelei ar fi azvârlite înapoi în gazul din galaxie şi ar reprezenta o parte din materialul brut pentru următoarea generaţie de stele. Propriul nostru soare conţine circa doi la sută din aceste elemente mai grele, deoarece el este o stea din generaţia a doua sau a treia, formată acum circa cinci miliarde de ani dintr-un nor rotitor de gaz care conţinea resturile unor supernove anterioare. Majoritatea gazului din nor a format soarele sau a fost aruncat în afară, dar o cantitate mică de elemente grele s-au grupat şi au format corpurile care acum se mişcă pe orbite în jurul soarelui, planete aşa cum este pământul.

Pământul a fost la început foarte fierbinte şi fără atmosferă. În decursul timpului el s-a răcit şi a căpătat o atmosferă din emisia de gaze a rocilor. În această atmosferă timpurie nu am fi putut supravieţui. Ea nu conţinea oxigen, ci o mulţime de alte gaze otrăvitoare pentru noi, cum sunt hidrogenul sulfurat (gazul care dă ouălor stricate mirosul lor). Există însă alte forme primitive de viaţă care se pot dezvolta în aceste condiţii. Se crede că ele s-au dezvoltat în oceane, posibil ca rezultat al combinărilor întâmplătoare de atomi formând structuri mari, numite macromolecule, care erau capabile să asambleze atât atomi din ocean în structuri asemănătoare. Astfel, ele s-ar fi reprodus şi multiplicat. În unele cazuri existau erori la reproducere. Majoritatea acestor erori erau astfel W cât noile macromolecule nu se puteau reproduce şi în cele din urmă se distrugeau. Totuşi, câteva erori ar fi produs macromolecule care erau chiar mai bune reproducătoare. Ele aveau deci un avantaj şi au încercat să înlocuiască macromoleculele iniţiale. În acest fel a început un proces de evoluţie care a dus la dezvoltarea unor organisme auto-reproducătoare din ce în ce mai complicate. Primele forme primitive de viaţă consumau

diferite materiale, inclusiv hidrogen sulfurat, şi eliberau oxigen. Acest fapt a modificat treptat atmosfera la compoziţia pe care o are astăzi şi a permis dezvoltarea unor forme de viaţă mai evoluate cum sunt peştii, reptilele, mamiferele şi, în cele din urmă, rasa umană.

Această imagine a universului care a început foarte fierbinte şi s-a răcit pe măsură ce s-a extins este în concordanţă cu toate dovezile experimentale pe care le avem astăzi. Cu toate acestea, ea lasă fără răspuns mai multe întrebări importante:

1) De ce a fost universul timpuriu aşa de fierbinte?

2) De ce este universul atât de omogen la scară mare? De ce arată la fel în toate punctele din spaţiu şi în toate direcţiile? În special, de ce temperatura radiaţiei de fond de microunde este aproape aceeaşi când privim în direcţii diferite? Într-un fel este ca atunci când pui o întrebare la examen mai multor studenţi. Dacă toţi dau exact acelaşi răspuns, poţi fi sigur că au comunicat între ei. Şi totuşi, în modelul descris mai sus, lumina nu ar fi avut timp de la Big Bang să ajungă de la o regiune îndepărtată la alta, chiar dacă regiunile erau apropiate în universul timpuriu. Conform teoriei relativităţii, dacă lumina nu poate ajunge de la o regiune la alta, nicio altă informaţie nu poate. Astfel, nu ar fi existat niciun mod în care diferite regiuni din universul timpuriu ar fi putut ajunge să aibă aceeaşi temperatură, în afară de cazul când pentru un motiv necunoscut s-a întâmplat ca ele să pornească de la aceeaşi temperatură.

3) De ce a început universul cu o rată de expansiune atât de apropiată de cea critică, ce separă modelele care suferă un nou colaps de acelea în care continuă să se extindă pentru totdeauna, astfel că acum, zece miliarde de ani mai târziu, el tot se mai extinde cu o rată apropiată de cea critică? Dacă rata de expansiune la o secundă după Big Bang ar fi fost mai mică cu o parte dintr-o sută de miliarde de milioane, universul ar fi suferit un nou colaps înainte de a fi ajuns la dimensiunea actuală.

4) În ciuda faptului că universul este atât de omogen

şi izotrop la scară mare, el conţine neregularităţi cum sunt stelele şi galaxiile. Se crede că acestea s-au dezvoltat din mici diferenţe ale densităţii universului timpuriu de la o regiune la alta. Care a fost originea acestor fluctuaţii ale densităţii?

Teoria generală a relativităţii nu poate explica singură aceste caracteristici sau răspunde la aceste întrebări datorită prezicerii sale că universul a început cu o densitate infinită la singularitatea Big Bang-ului. La singularitate, relativitatea generalizată şi toate celelalte legi ale fizicii încetează să mai funcţioneze: nu se poate prezice ce va rezulta din singularitate. Aşa cum s-a explicat ulterior aceasta înseamnă că Big Bang-ul şi toate evenimentele dinaintea lui pot fi eliminate din teorie, deoarece ele nu pot avea vreun efect asupra ceea ce observăm noi. Spaţiu-timpul ar avea o limită un început la Big Bang.

Se pare că ştiinţa nu a descoperit un set de legi care, în limitele determinate de principiul de incertitudine, ne spun cum se va dezvolta universul în timp, dacă ştim starea sa la un moment dat. Poate că aceste legi au fost iniţial decretate de Dumnezeu, dar rezultă că de atunci el a lăsat universul să evolueze conform acestora şi nu intervine. Dar cum a ales el starea sau configuraţia iniţială a universului? Care erau „condiţiile la limită” la începutul timpului?

Un răspuns posibil este de a spune că Dumnezeu a ales configuraţia iniţială a universului din motive pe care noi nu putem spera să le înţelegem. Aceasta, desigur, ar fi fost în puterea unei fiinţe atotputernice, dar dacă ea ar fi creat universul într-un mod atât de neînţeles, de ce a ales să-l lase să evolueze conform unor legi pe care le-am putea înţelege? Întreaga istorie a ştiinţei a constat în înţelegerea treptată a faptului că evenimentele nu se produc arbitrar, ci reflectă o anumită ordine fundamentală, care poate fi sau nu de inspiraţie divină. Ar fi natural să se presupună că această ordine ar trebui să se aplice nu numai legilor, dar şi condiţiilor la limită ale spaţiu-timpului care specifică

starea iniţială a universului. Poate exista un mare număr de modele ale universului cu diferite condiţii iniţiale care toate respectă legile. Ar trebui să existe un principiu care să aleagă o stare iniţială şi deci un model care să reprezinte universul nostru.

O astfel de posibilitate o reprezintă aşa-numitele condiţii la limită haotice. Acestea presupun implicit că universul este spaţial infinit sau că există infinit de multe universuri. În condiţiile la limită haotice, probabilitatea de a găsi o anumită regiune a spaţiului într-o configuraţie dată imediat după Big Bang, este aceeaşi, într-un fel, cu probabilitatea de a o găsi în oricare altă configuraţie: starea iniţială a universului este aleasă pur şi simplu întâmplător. Aceasta ar însemna că universul timpuriu a fost probabil foarte haotic, neregulat, deoarece există mult mai multe configuraţii haotice fi dezordonate ale universului decât cele omogene şi ordonate. (Dacă fiecare configuraţie are probabilitate egală, este probabil că universul a început într-o stare haotică şi dezordonată, pur şi simplu deoarece există mult mai multe dintre acestea.) Este greu de văzut cum au putut da naştere aceste condiţii iniţiale haotice unui univers atât de omogen şi regulat la scară mare cum este al nostru astăzi. Ar fi fost de aşteptat ca fluctuaţiile de densitate într-un model de acest fel să conducă la formarea mult mai multor găuri negre primordiale decât limita superioară care a fost determinată prin observaţiile asupra fondului de raze gamma.

Dacă universul este într-adevăr infinit în spaţiu sau dacă există infinit de multe universuri, ar exista probabil unele regiuni, mari undeva, care au început în mod omogen şi uniform. Este cam ca bine cunoscuta ceată de maimuţe care lovesc clapele unor maşini de scris majoritatea celor scrise nu ar însemna nimic, dar foarte rar, pur şi simplu din întâmplare, vor scrie unul dintre sonetele lui Shakespeare. Similar, în cazul universului, s-ar putea întâmpla ca noi să trăim într-o regiune care din întâmplare este omogenă şi izotropă? La prima vedere

acest lucru ar fi foarte puţin probabil deoarece numărul unor astfel de regiuni netede ar fi cu mult depăşit de cel al regiunilor haotice şi neregulate. Totuşi; să presupunem că numai în regiunile omogene se formau galaxii şi stele îi erau condiţii propice pentru dezvoltarea unor organisme complicate auto-reproducătoare ca ale noastre, care erau capabile să pună întrebarea: De ce este universul atât de omogen? Acesta este un exemplu de aplicare a ceea ce se numeşte principiul antropic, care poate fi parafrazat astfel: „Vedem universul aşa cum este deoarece există”.

Există două versiuni ale principiului antropic, slab şi tare. Principiul antropic slab afirmă că într-un univers care este mare sau infinit în spaţiu şi/sau timp, condiţiile necesare pentru dezvoltarea vieţii inteligente s-ar întâlni numai în anumite regiuni limitate în spaţiu şi timp. Fiinţele inteligente din aceste regiuni nu ar trebui deci să fie surprinse dacă ar observa că poziţia lor în univers satisface condiţiile necesare pentru existenţa lor. Este cam ca o persoană bogată care trăieşte într-o vecinătate prosperă fără să vadă sărăcia.

Un exemplu de utilizare a principiului antropic slab este de a „explica” de ce s-a produs Big Bang-ul acum circa zece miliarde de ani pentru că atât este necesar fiinţelor inteligente să evolueze. Aşa cum s-a explicat mai sus, a trebuit să se formeze mai întâi o generaţie timpurie de stele. Aceste stele au transformat o parte din hidrogenul şi heliul iniţial în elemente cum sunt carbonul şi oxigenul, din care suntem făcuţi. Apoi stelele au explodat formând supernove şi resturile lor au format alte stele şi planete, printre care acelea din Sistemul nostru Solar, care are vârsta de circa cinci miliarde de ani. Primele unul sau două miliarde de ani din existenţa pământului au fost prea fierbinţi pentru ca să se poată dezvolta ceva complicat. Restul de trei miliarde de ani au fost consumaţi de lentul proces al evoluţiei biologice, care a condus de la organismele cele mai simple la fiinţe capabile să măsoare timpul înapoi până la Big Bang.

Puţine persoane ar contrazice valabilitatea sau

utilitatea principiului antropic slab. Unii însă merg mult mai departe şi propun o versiune tare a principiului. Conform acestei teorii există multe universuri diferite sau multe regiuni diferite ale unui singur univers, fiecare cu propria configuraţie iniţială şi, poate, cu propriul set de legi ale ştiinţei. În majoritatea acestor universuri, condiţiile nu ar fi corespunzătoare pentru dezvoltarea organismelor complicate; numai în puţine universuri care sunt ca al nostru s-ar dezvolta fiinţe inteligente şi ar pune întrebarea: „De ce este universul aşa cum îl vedem?” Atunci răspunsul este simplu: Dacă ar fi fost altfel, noi nu am fi fost aici!

Legile ştiinţei, aşa cum le cunoaştem în prezent, conţin multe numere fundamentale, cum sunt mărimea sarcinii electrice a electronului şi raportul dintre masele protonului şi electronului. Nu putem, cel puţin în prezent, să prezicem din teorie valorile acestor numere trebuie să le găsim din observaţii. Poate că într-o zi vom descoperi o teorie unificată completă care să le prezică pe toate, dar este posibil, de asemenea, ca unele dintre ele sau toate să varieze de la un univers la altul sau în cadrul unui singur univers. Este remarcabil că valorile acestor numere par să fi fost foarte bine ajustate, încât să facă posibilă dezvoltarea vieţii. De exemplu, dacă sarcina electrică a unui electron ar fi doar puţin diferită, stelele nu ar fi putut arde hidrogen şi heliu, sau ele nu ar fi putut exploda. Desigur, ar fi putut exista alte forme de viaţă inteligentă, pe care scriitorii de literatură ştiinţifico-fantastică nici n-au visat-o, care nu ar avea nevoie de lumina unei stele ca soarele nostru sau de elementele chimice mai grele care se formează în stele şi sunt împrăştiate în spaţiu atunci când steaua explodează. Cu toate acestea, pare să fie clar că există relativ puţine valori numerice care ar permite dezvoltarea unei forme de viaţă inteligente. Majoritatea seturilor de valori ar da naştere unor universuri care, deşi ar putea fi foarte frumoase, nu ar conţine pe cineva care să poată admira acea frumuseţe. Acest fapt poate fi considerat ca un scop divin al Creaţiei şi alegerii legilor

ştiinţei sau ca sprijin pentru principiul antropic tare.

Există mai multe obiecţii care pot fi aduse principiului antropic tare ca o explicaţie a stării observate a universului. În primul rând, în ce sens se poate spune că există aceste universuri diferite? Dacă ele sunt într-adevăr separate unul de altul, ceea ce se întâmplă în alt univers nu poate avea consecinţe observabile în propriul nostru univers. Prin urmare trebuie să utilizăm principiul economiei şi să le eliminăm din teorie. Dacă, pe de altă parte, ele sunt doar regiuni diferite ale unui singur univers, legile ştiinţei ar fi aceleaşi în fiecare regiune, deoarece altfel nu s-ar putea efectua o deplasare continuă de la o regiune la alta. În acest caz, singura diferenţă între regiuni ar fi configuraţia lor iniţială şi astfel principiul antropic tare se reduce la principiul antropic slab.

O a doua obiecţie la principiul antropic tare este că el se opune evoluţiei întregii istorii a ştiinţei. Noi am evoluat de la cosmologiile geocentrice ale lui Ptolemeu şi strămoşilor săi, prin cosmologia heliocentrică a lui Copernic şi Galilei, la imaginea modernă în care pământul este o planetă de mărime medie, care se mişcă pe orbită în jurul unei stele medii în marginile unei galaxii spirale obişnuite, care este ea însăşi una din circa un milion de milioane de galaxii din universul observabil. Şi totuşi principiul antropic tare ar susţine că toată această vastă construcţie există numai de dragul nostru. Acest lucru este foarte greu de crezut. Sistemul nostru Solar este desigur o necesitate pentru existenţa noastră şi aceasta se poate extinde la toată galaxia pentru a permite generarea anterioară a stelelor care au creat elementele grele. Dar nu pare a fi o necesitate a existenţei celorlalte galaxii nici ca universul să fie atât de uniform şi asemănător în orice direcţie, la scară mare.

Principiul antropic ar fi privit mai favorabil, cel puţin în versiunea slabă, dacă s-ar putea arăta că mai multe configuraţii iniţiale diferite ale universului ar fi evoluat astfel încât să producă un univers ca acela pe care-l observăm. Dacă se întâmplă aşa, un univers care s-a

dezvoltat din condiţii iniţiale întâmplătoare ar trebui să conţină mai multe regiuni omogene şi izotrope şi adecvate pentru evoluţia vieţii inteligente. Pe de altă parte, dacă starea iniţială a universului a trebuit să fie aleasă extrem de atent pentru a conduce la ceva asemănător cu ceea ce vedem în jurul nostru, nu ar fi probabil ca universul să conţină vreo regiune în care ar apărea viaţă. În modelul Big Bang fierbinte descris mai sus, în universul timpuriu nu era suficient timp încât căldura să treacă de la o regiune la alta. Aceasta înseamnă că starea iniţială a universului ar fi trebuit să aibă exact aceeaşi temperatură peste tot pentru a explica faptul că fondul de microunde are aceeaşi temperatură în orice direcţie privim. Rata iniţială de expansiune ar fi trebuit, de asemenea, să fie aleasă foarte precis pentru ca rata de expansiune să fie atât de apropiată de rata critică necesară pentru a evita colapsul. Aceasta înseamnă că starea iniţială a universului trebuie să fi fost într-adevăr foarte bine aleasă dacă modelul Big Bang fierbinte era corect atunci, la începutul timpului. Ar i foarte greu să se explice de ce universul a trebuit să înceapă exact aşa, în afară de faptul că a fost un act al lui Dumnezeu care intenţiona să creeze ştiinţe ca noi.

Încercând să găsească un model al universului în care mai multe configuraţii iniţiale diferite ar fi putut evolua către ceva asemenea universului actual, un savant de la Institutul Tehnologic din Massachusetts, Alan Guth, a sugerat că universul timpuriu trebuie să fi trecut printr-o perioadă de expansiune foarte rapidă. Această expansiune se numeşte „inflaţionistă”, însemnând că odinioară universul s-a extins cu o rată crescătoare, nu cu o rată descrescătoare cum o face astăzi. Conform lui Guth, raza universului a crescut de un milion de milioane de milioane de milioane de milioane (1 urmat de treizeci de zerouri) de ori numai într-o mică fracţiune dintr-o secundă.

Guth a sugerat că universul a început de la Big Bang într-o stare foarte fierbinte, dar haotică. Aceste temperaturi înalte ar fi însemnat că particulele din univers

s-ar fi mişcat foarte repede şi ar fi avut energii înalte. Aşa cum am discutat mai înainte, ar fi de aşteptat ca la temperaturi aşa de înalte interacţiile nucleare tari şi slabe, precum şi forţa electromagnetică, să fie toate unificate într-o singură forţă. Pe măsură ce universul se extindea, el s-ar fi răcit şi energiile particulelor ar fi scăzut. În cele din urmă, ar fi existat o tranziţie de fază şi simetria între forţe ar fi fost distrusă: interacţia tare ar fi devenit diferită de interacţia slabă şi forţa electromagnetică. Un exemplu obişnuit al unei tranziţii de fază este îngheţarea apei atunci când o răciţi. Apa lichidă este simetrică, aceeaşi în orice punct şi în orice direcţie. Totuşi, când se formează cristalele de gheaţă, ele vor avea poziţii definite şi vor fi aliniate într-o direcţie. Aceasta distruge simetria apei.

În cazul apei, dacă se lucrează cu atenţie, se poate suprarăci apa, adică se poate reduce temperatura sub punctul de îngheţ (0°C) fără formarea gheţii. Guth a sugerat că universul ar putea să se comporte în mod asemănător: temperatura putea scădea sub valoarea critică fără a distruge simetria forţelor. Dacă s-a întâmplat acest lucru, universul ar fi într-o stare instabilă, cu mai multă energie decât dacă simetria ar fi fost distrusă. Se poate arăta că această energie suplimentară specială are un efect antigravitaţional: ea ar fi acţionat precum constanta cosmologică pe care Einstein a introdus-o în relativitatea generalizată atunci când încerca să construiască un model static al universului. Deoarece universul se extindea deja exact ca în modelul Big Bang fierbinte, efectul de respingere al acestei constante cosmologice ar fi făcut deci ca universul să se extindă cu o rată care creştea uniform. Chiar în regiuni în care existau mai multe particule de materie decât media, atracţia gravitaţională a materiei ar fi depăşit respingerea constantei cosmologice efective. Astfel, aceste regiuni s-ar extinde, de asemenea, într-un mod accelerat inflaţionist. Pe măsură ce ele se extindeau şi particulele de materie se depărtau una de alta, ar fi rămas un univers în expansiune care conţinea foarte puţine particule şi era încă în stare

suprarăcită. Neregularităţile existente în univers ar fi fost netezite de expansiune, aşa cum încreţiturile unui balon se netezesc atunci când este umflat. Astfel, starea actuală omogenă şi izotropă a universului ar fi putut evolua din multe stări iniţiale neuniforme diferite.

Într-un univers de acest fel, în care expansiunea era accelerată de o constantă cosmologică în loc de a fi încetinită de atracţia gravitaţională a materiei, ar fi fost timp suficient pentru ca lumina să se deplaseze de la o regiune la alta în universul timpuriu. Aceasta ar putea da o soluţie problemei apărute mai înainte: de ce regiuni diferite din universul timpuriu au aceleaşi proprietăţi. Mai mult, rata expansiunii universului ar deveni automat foarte apropiată de rata critică determinată de densitatea energiei universului. Aceasta ar putea explica de ce rata de expansiune este încă atât de apropiată de rata critică, fără să trebuiască să presupunem că rata iniţială de expansiune a universului a fost aleasă cu multă grijă.

Ideea inflaţiei ar putea explica, de asemenea, de ce există aşa de multă materie în univers. În regiunea universului pe care o putem observa există circa zece milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane (1 urmat de optzeci şi cinci de zerouri) de particule. De unde au venit toate? Răspunsul este că, în teoria cuantică, particulele pot fi create din energie în formă de perechi de particulă/ antiparticulă. Dar apare întrebarea de unde vine energia. Răspunsul este că energia totală a universului este exact zero. Materia din univers este formată din energie pozitivă. Totuşi, materia se atrage pe sine prin gravitaţie. Două bucăţi de materie apropiate au mai puţină energie decât aceleaşi două bucăţi aflate foarte departe una de alta, deoarece aţi cheltuit energie să le separaţi acţionând împotriva forţei gravitaţionale care le atrage una spre alta. Astfel, într-un fel, câmpul gravitaţional are energie negativă. În cazul unui univers care este aproximativ uniform în spaţiu, se poate arăta că această

energie gravitaţională negativă anulează exact energia pozitivă reprezentată de materie. Astfel, energia totală a universului este zero.

Dar, de două ori zero fac tot zero. Astfel, universul îşi poate dubla cantitatea de energie pozitivă a materiei şi-şi poate dubla şi energia gravitaţională negativă fără încălcarea conservării energiei. Acest lucru nu se întâmplă la expansiunea normală a universului în care densitatea energiei materiei scade pe măsură ce universul devine mai mare. El se întâmplă, totuşi, la expansiunea inflaţionistă, deoarece densitatea energiei stării suprarăcite rămâne constantă în timp ce universul se extinde; când universul îşi dublează dimensiunea, energia pozitivă a materiei şi energia negativă gravitaţională se dublează amândouă, astfel că energia totală rămâne zero. În timpul fazei inflaţioniste, universul îşi măreşte dimensiunea cu o valoare foarte mare. Astfel, cantitatea totală de energie disponibilă pentru crearea particulelor devine foarte mare. Aşa cum remarca Guth: „Se spune că nu există lucruri ca un prânz gratis. Dar universul este ultimul prânz gratis”.

Astăzi universul nu se extinde inflaţionist. Rezultă că trebuie să existe un mecanism care ar elimina constanta cosmologică efectivă foarte mare şi care ar schimba astfel rata de expansiune de la una accelerată la una încetinită de gravitaţie, aşa cum avem astăzi. În expansiunea inflaţionistă se poate aştepta ca până la urmă simetria dintre forţe să fie distrusă, exact aşa cum apa suprarăcită îngheaţă întotdeauna în final. Energia suplimentară a stării simetrice ar fi eliberată şi ar reîncălzi universul la o temperatură imediat sub temperatura critică pentru simetria dintre forţe. Atunci, universul ar continua să se extindă şi să se răcească exact ca în modelul Big Bang fierbinte, dar acum ar exista o explicaţie a faptului că universul se extindea exact cu rata critică şi că diferite regiuni aveau aceeaşi temperatură.

În propunerea originală a lui Guth se presupunea că tranziţia de fază se produce brusc, aşa cum cristalele de gheaţă apar în apa foarte rece. Ideea era că în vechea fază

se formau „bule” din noua fază cu simetria distrusă ca bulele de aburi înconjurate de apa care fierbe. Se presupunea că bulele se extindeau şi se uneau până ce întregul univers ajungea în noua fază. Problema era, aşa cum eu şi alţi câţiva am arătat, că universul se extindea atât de repede încât chiar dacă bulele ar fi crescut cu viteza luminii, ele s-ar fi îndepărtat unele de altele astfel că nu ar fi putut să se unească. Universul ar fi rămas într-o stare foarte neuniformă, cu unele regiuni având încă simetrie între diferitele forţe. Un model de acest fel al universului nu ar corespunde cu ceea ce vedem.

În octombrie 1981 m-am dus la Moscova pentru o conferinţă despre gravitaţia cuantică. După conferinţă am ţinut un seminar despre modelul inflaţionist şi problemele sale la Institutul Astronomic Sternberg. Înainte de acesta, aveam pe altcineva care să-mi ţină cursurile, pentru că majoritatea oamenilor nu înţelegeau ce spun. Dar nu am avut timp să pregătesc acest seminar, aşa că l-am ţinut chiar eu, unul dintre studenţii mei repetându-mi spusele. În sală era un tânăr rus, Andrei Linde, de la Institutul Lebedev din Moscova. El a spus că dificultatea datorată bulelor care nu se unesc poate fi evitată dacă bulele ar fi atât de mari încât regiunea noastră din univers să fie conţinută în întregime într-o singură bulă. Pentru ca acest lucru să fie corect, trebuia ca trecerea de la simetrie la lipsa de simetrie să se facă foarte lent în interiorul bulei, şi acest lucru este destul de posibil conform marilor teorii unificate. Ideea lui Linde despre distrugerea lentă a simetriei a fost foarte bună, dar ulterior am realizat că bulele sale ar fi trebuit să fie mai mari decât dimensiunea de atunci a universului! Am arătat că, în schimb, simetria trebuia să fie distrusă peste tot în acelaşi timp nu numai în interiorul bulelor. Aceasta ar conduce la un univers uniform, aşa cum îl observăm. Am fost foarte interesat de această idee şi am discutat-o cu unul dintre studenţii mei, Jan Moss. Ca prieten al lui Linde, am fost stânjenit, totuşi, când ulterior o revistă ştiinţifică mi-a trimis lucrarea sa şi m-a întrebat dacă era bună de publicat. Am răspuns că

exista această fisură a bulelor care trebuiau să fie mai mari decât universul, dar că ideea de bază a distrugerii lente a simetriei era foarte bună. Am recomandat ca lucrarea să fie publicată aşa cum este deoarece lui Linde i-ar trebui câteva luni ca s-o corecteze, pentru că tot ce era trimis în vest trebuia să treacă prin cenzura sovietică, aceasta nefiind nici priceputã şi nici foarte rapidă cu lucrările ştiinţifice. În schimb, am scris o lucrare scurtă cu Jan Moss în aceeaşi revistă în care am descris această problemă cu bulele şi am arătat cum ar putea fi rezolvată.

A doua zi după ce m-am întors de la Moscova am plecat la Philadelphia, unde trebuia să primesc o medalie de la Institutul Franklin. Secretara mea Judy Fella şi-a utilizat farmecul deloc neglijabil pentru a convinge British Airways să ne dea ei şi mie locuri gratis pe un Concorde, pentru publicitate. Însă din cauza ploii torenţiale am pierdut avionul. Totuşi, am ajuns la Philadelphia şi mi-am primit medalia. Mi s-a cerut atunci să ţin un seminar despre universul inflaţionist la Universitatea Drexel din Philadelphia. Am ţinut acelaşi seminar despre universul inflaţionist ca şi la Moscova.

O idee foarte asemănătoare cu cea a lui Linde a fost propusă independent câteva luni mai Grziu de Paul Stenhardt şi Andreas Albrecht de la Universitatea din Pennsylvania. Ei sunt consideraţi acum împreună cu Linde creatorii „noului model inflaţionist” bazat pe ideea unei distrugeri lente a simetriei. (Vechiul model inflaţionist era propunerea originală a lui Guth a unei distrugeri rapide a simetriei odată cu formarea bulelor.)

Noul model inflaţionist a fost o încercare bună de a explica de ce universul este aşa cum este. Totuşi, eu şi câteva alte persoane am arătat că, cel puţin în forma sa originală, el prezicea variaţii mult mai mari ale temperaturii radiaţiei de fond de microunde decât sunt observate. Activitatea ulterioară a pus la îndoială, de asemenea, dacă universul foarte timpuriu putea fi o tranziţie de fază de tipul necesar. După părerea mea, noul model inflaţionist este acum mort ca teorie ştiinţifică, deşi

o mulţime de persoane nu par a fi auzit despre decesul său şi scriu lucrări ca şi când ar fi încă viabil. În 1983, Linde a propus un model mai bun, numit modelul inflaţionist haotic. În cadrul acestui model nu există tranziţie de fază sau suprarăcire. În schimb, există un câmp de spin 0, care, datorită fluctuaţiilor cuantice, ar avea valori mari în unele regiuni din universul timpuriu. Energia câmpului din aceste regiuni s-ar comporta ca o constantă cosmologică. Ea ar avea un efect gravitaţional de respingere determinând extinderea inflaţionistă a acelor regiuni. Pe măsură ce ele se extind, energia câmpului din ele ar descreşte lent până ce expansiunea inflaţionistă se schimbă într-o expansiune ca aceea din modelul Big Bang fierbinte. Una din aceste regiuni ar deveni ceea ce vedem acum ca univers observabil. Acest model are toate avantajele modelelor inflaţioniste anterioare, dar el nu depinde de o tranziţie de fază îndoielnică şi, în plus, el poate da o valoare rezonabilă a fluctuaţiilor de temperatură a fondului de microunde care concordă cu observaţia.

Această activitate privind modelele inflaţioniste a arătat că starea actuală a universului ar fi putut proveni dintr-un număr destul de mare de configuraţii iniţiale diferite. Acest lucru este important, deoarece arată că starea iniţială a părţii de univers pe care o locuim nu a trebuit să fie aleasă cu mare grijă. Astfel că, dacă dorim, putem utiliza principiul antropic slab pentru a explica de ce universul arată aşa cum este acum. Nu se poate însă ca fiecare configuraţie iniţială să fi condus la un univers ca acela pe care-l observăm. Acest lucru se poate demonstra considerând pentru universul actual o stare foarte diferită, să spunem o stare foarte neregulată şi neomogenă. Legile ştiinţei pot fi utilizate pentru a urmări înapoi în timp evoluţia universului, pentru a determina configuraţia sa la început. Conform teoremelor singularităţilor din relativitatea generalizată clasică, ar fi existat o singularitate Big Bang. Dacă faceţi să evolueze un univers de acest fel înainte în timp conform legilor ştiinţei, veţi

încheia cu starea neomogenă şi neregulată cu care aţi început. Astfel că trebuie să fi existat configuraţii iniţiale care nu ar fi dat naştere unui univers ca acela pe care-l vedem astăzi. Rezultă că modelul inflaţionist nu ne spune de ce configuraţia iniţială nu a fost astfel încât să producă ceva foarte diferit de ceea ce observăm. Trebuie să ne întoarcem la principiul antropic pentru o explicaţie? A fost doar o întâmplare norocoasă? Aceasta ar părea o idee a disperării, o negare a tuturor speranţelor noastre de a înţelege ordinea fundamentală a universului.

Pentru a prezice modul în care a început universul sunt necesare legi care sunt valabile la începutul timpului. Dacă teoria clasică a relativităţii generalizate era corectă, teoremele pe care Roger Penrose şi cu mine le-am demonstrat arată că începutul timpului trebuie să fi fost un punct de densitate infinită şi curbură infinită a spaţiu-timpului. Într-un astfel de punct niciuna dintre legile cunoscute le ştiinţei nu mai funcţionează. Se poate presupune că erau legi noi care erau valabile la singularităţi, dar ar fi foarte dificil chiar să se formuleze astfel de legi în puncte care se comportă atât de prost şi nu am avea indicaţii din observaţii despre ce ar putea fi aceste legi. Totuşi, teoremele singularităţilor arată că, în realitate, câmpul gravitaţional devine atât de puternic încât efectele gravitaţionale cuantice devin importante; teoria clasică nu mai reprezintă o descriere bună a universului. De aceea, pentru a discuta etapele foarte timpurii ale universului trebuie să se utilizeze o teorie cuantică a gravitaţiei. Aşa cum vom vedea, în teoria cuantică este posibil ca legile obişnuite ale ştiinţei să fie valabile peste tot, inclusiv la începutul timpului: nu este necesar să se postuleze noi legi pentru singularităţi, deoarece în teoria cuantică nu este necesar să existe singularităţi.

Nu avem încă o teorie completă şi consistentă care să combine mecanica cuantică şi gravitaţia. Totuşi, suntem destul de siguri de anumite caracteristici pe care o teorie unificată ar trebui să le aibă. Una este că ea trebuie să

înglobeze propunerea lui Feynman de a formula teoria cuantică în funcţie de o sumă a istoriilor. În această abordare, o particulă nu are doar o singură istorie, aşa cum ar fi avut în teoria clasică. În schimb, se presupune că urmează fiecare traiectorie posibilă în spaţiu-timp şi fiecărei istorii i se asociază două numere, unul care reprezintă dimensiunea unei unde şi celălalt reprezentând poziţia sa în ciclu (faza sa). Probabilitatea ca particula, să spunem, să treacă printr-un anumit punct se găseşte adunând undele asociate fiecărei istorii posibile care trece prin acel punct. Dacă însă se încearcă într-adevăr efectuarea acestor sume, se ajunge la probleme tehnice serioase. Singura cale de a le ocoli este de a urma o indicaţie specială: trebuie să se adune undele pentru istoriile particulei care nu sunt în timpul „real" pe care îl cunoaştem, ci au loc în ceea ce se numeşte timpul imaginar. Timpul imaginar poate suna a literatură ştiinţifico-fantastică dar, de fapt, este un concept matematic bine definit. Dacă luăm orice număr obişnuit (sau „real") şi îl înmulţim cu el însuşi, rezultatul este un număr pozitiv. (De exemplu, 2 ori 2 fac 4, dar se obţine acelaşi rezultat pentru – 2 ori – 2.) Există însă numere speciale (numite imaginare) care dau numere negative atunci când se înmulţesc cu ele însele. (Acela numit i, când este înmulţit cu el însuşi, dă – 1, 2 înmulţit cu el însuşi dă 4 ş.a.m.d.)

Pentru a evita dificultăţile tehnice la suma istoriilor a lui Feynman, trebuie să se utilizeze timpul imaginar. Adică pentru efectuarea calculelor timpul trebuie să se măsoare utilizând numere imaginare în loc de numere reale: Acest lucru are un efect interesant asupra spaţiu-timpului; distincţia dintre timp şi spaţiu dispare complet. Un spaţiu-timp în care evenimentele au valori imaginare ale coordonatei timpului se numeşte euclidian, după un grec din antichitate, Euclid, care a pus bazele studiului geometriei suprafeţelor bi-dimensionale. Ceea ce numim acum spaţiu-timp euclidian este foarte asemănător cu excepţia faptului că el are patru dimensiuni în loc de două.

În spaţiul euclidian nu e nicio diferenţă între direcţia timpului şi direcţiile în spaţiu. Pe de altă parte, în spaţiu-timpul real, în care evenimentele sunt marcate de valori reale, obişnuite ale coordonatei timpului, este uşor să spui care este diferenţa direcţia timpului în toate punctele se găseşte în conul de lumină şi direcţiile spaţiului se găsesc în afara lui. În orice caz, în ceea ce priveşte mecanica cuantică obişnuită, putem privi utilizarea timpului imaginar şi a spaţiu-timpului euclidian doar ca un aparat (sau artificiu) matematic pentru a calcula răspunsurile privind spaţiu-timpul real.

O a doua caracteristică pe care credem că trebuie să o aibă orice teorie finală este ideea lui Einstein că un câmp gravitaţional se reprezintă prin spaţiu-timpul curbat; particulele încearcă să urmeze corpul cel mai apropiat pe o traiectorie dreaptă într-un spaţiu curbat, dar deoarece spaţiu-timpul nu este plan, traiectoriile sale sunt curbate, aşa cum sunt într-un câmp gravitaţional. Atunci când la concepţia despre gravitaţie a lui Einstein aplicăm suma pe toate istoriile a lui Feynman, analogul istoriei unei particule este acum un spaţiu-timp complet curbat care reprezintă istoria întregului univers. Pentru a evita dificultăţile tehnice la efectuarea reală a sumei peste toate istoriile, aceste sisteme spaţiu-timp curbate trebuie considerate euclidiene. Adică timpul este imaginar şi nu poate fi distins de direcţiile spaţiului. Pentru a calcula probabilitatea de găsire a unui spaţiu-timp real cu o anumită proprietate, cum este aceea că arată la fel în orice punct şi în orice direcţie, se adună undele asociate tuturor istoriilor care au acea proprietate.

În teoria clasică a relativităţii generalizate există multe sisteme spaţiu-timp curbate posibile, fiecare corespunzând unei stări iniţiale diferite a universului: Dacă ştim starea iniţială a universului nostru, am şti întreaga sa istorie. În mod asemănător, în teoria cuantică a gravitaţiei există multe stări cuantice diferite posibile pentru univers. Din nou, dacă ştim cum se comportă sistemele spaţiu-timp euclidiene curbate la început, am cunoaşte starea cuantică

a universului.

În teoria clasică a gravitaţiei, care se bazează pe un spaţiu-timp real, există doar două moduri posibile în care se poate comporta universul: ori a existat un timp infinit, ori a avut un început la o singularitate într-un anumit moment în trecut. Pe de altă parte, în teoria cuantică a gravitaţiei apare o a treia posibilitate. Deoarece se utilizează sisteme spaţiu-timp euclidiene în care direcţia timpului nu diferă de direcţiile spaţiului, este posibil ca spaţiu-timpul să aibă întinderea finită şi totuşi să nu aibă singularităţi care să formeze o limită sau o margine. Spaţiu-timpul ar fi ca suprafaţa pământului, doar că ar avea încă două dimensiuni. Suprafaţa pământului are o întindere finită dar nu are limită sau o margine: dacă navigaţi spre apus nu cădeţi de pe margine sau nu intraţi într-o singularitate. (ştiu, pentru că am fost în jurul lumii!)

Dacă spaţiu-timpul euclidian se întinde înapoi spre un timp imaginar, sau începe la o singularitate în timpul imaginar, avem aceeaşi problemă ca şi specificarea stării iniţiale a universului în teoria clasică: poate că Dumnezeu ştie cum a început universul, dar noi nu putem indica un motiv special pentru a crede că a început într-un fel sau altul. Pe de altă parte, teoria cuantică a gravitaţiei a deschis o nouă posibilitate în care spaţiu-timpul nu ar avea limită şi deci nu ar fi necesar să se specifice comportarea lui la limită. Nu ar fi singularităţi la care legile ştiinţei să nu mai funcţioneze şi nici margine a spaţiu-timpului unde ar trebui să se facă apel la Dumnezeu sau la nişte legi noi pentru a stabili condiţiile la limită pentru spaţiu-timp. Se poate spune: „Condiţia la limită a universului este că nu are limită”. Universul ar fi complet independent şi nu ar fi afectat de nimic din afara sa. El nu ar fi nici creat, nici distrus. Pur şi simplu ar FI.

La conferinţa de la Vatican menţionată anterior, eu am prezentat pentru prima oară ipoteza că poate timpul şi spaţiul formau împreună o suprafaţă care avea dimensiune finită dar nu avea limită sau margine. Lucrarea mea era matematică însă, astfel că implicaţiile sale pentru rolul lui

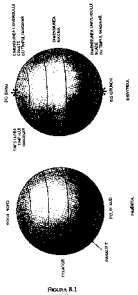
Dumnezeu în crearea universului nu au fost general recunoscute în acel moment (nici chiar de mine). În momentul conferinţei de la Vatican, nu ştiam cum să utilizez ideea „fără limită” pentru a face precizări despre univers. Vara următoare am petrecut-o la Universitatea Santa Barbara din California. Acolo, un coleg şi prieten al meu, Jim Hartle, a lucrat împreună cu mine pentru a găsi condiţiile pe care trebuie să le satisfacă universul dacă spaţiu-timpul nu are limită. Când m-am întors la Cambridge, am continuat această lucrare cu doi din studenţii mei, Julian Luttrel şi Jonathan Halliwell.

Aş vrea să subliniez că ideea că timpul şi spaţiul ar trebui să fie finit fără limită este doar o propunere; ea nu se poate deduce din alt principiu, ca oricare altă teorie ştiinţifică, ea a fost pusă în discuţie din motive estetice şi metafizice, dar testul real cere ca ea să facă predicţii care corespund observaţiilor. Acest lucru este însă greu de determinat, în cazul gravitaţiei cuantice, din două motive. În primul rând, aşa cum se va explica în capitolul următor, nu suntem încă siguri care teorie combină în mod reuşit relativitatea generalizată şi mecanica cuantică, deşi cunoaştem destui de multe despre forma pe care trebuie să o aibă o teorie de acest fel. În al doilea rând, orice model care descrie în detaliu întregul univers ar fi prea complicat din punct de vedere matematic pentru a-i putea calcula exact predicţiile. Prin urmare, trebuie făcute ipoteze şi aproximaţii simplificatoare şi chiar şi atunci problema obţinerii predicţiilor rămâne extraordinară.

Fiecare istorie din suma istoriilor nu descrie numai spaţiu-timpul, ci şi tot ce se află în el, inclusiv organismele complicate ca fiinţele umane care pot observa istoria universului. Aceasta poate da o altă justificare principiului antropic, deoarece, dacă toate istoriile sunt posibile, atunci, atâta timp cât noi existăm într-una din istorii, putem utiliza principiul antropic pentru a explica de ce universul este aşa cum este. Nu este clar ce înţeles poate fi atribuit celorlalte istorii în care noi nu existăm. Acest punct de vedere al unei teorii cuantice a gravitaţiei ar fi

mult mai satisfăcător, totuşi, dacă s-ar putea arăta că, utilizând suma istoriilor, universul nostru nu este doar una din istoriile posibile, ci una din cele mai probabile. Pentru a face aceasta, trebuie să efectuăm suma istoriilor pentru toate sistemele spaţiu-timp euclidiene posibile care nu au limită.

În cadrul propunerii „fără limită” se arată că şansa universului de a urma majoritatea istoriilor posibile este neglijabilă, dar există o familie specială de istorii care sunt mult mai probabile decât celelalte. Aceste istorii pot fi reprezentate ca suprafaţa pământului, distanţa faţă de Polul Nord reprezentând timpul imaginar iar dimensiunea unui cerc aflat la distanţă constantă de Polul Nord reprezentând dimensiunea spaţială a universului. Universul începe la Polul Nord ca un singur punct. Pe măsură ce ne deplasăm spre sud, paralelele aflate la distanţă constantă de Polul Nord devin mai mari, corespunzând universului în expansiune în timpul imaginar (fig. 8.1). Universul ar ajunge la ecuator la o dimensiune maximă apoi s-ar contracta odată cu creşterea timpului imaginar către un singur punct la Polul Sud. Chiar dacă universul ar avea dimensiunea zero la Polul Nord şi la Polul Sud, aceste puncte nu ar fi singularităţi, deşi Polul Nord şi Polul Sud de pe pământ sunt singulare. Legile ştiinţei vor fi valabile în aceste puncte, exact cum sunt la Polul Nord şi la Polul Sud de pe pământ.



Istoria universului în timp real însă ar arăta foarte diferit. Acum zece sau douăzeci de miliarde de ani, el ar fi

avut o dimensiune minimă, care era egală cu raza maximă a istoriei în timpul imaginar. La momente reale ulterioare, universul s-ar extinde ca în modelul haotic inflaţionist propus de Linde (dar acum nu mai trebuie să se presupună că universul a fost creat cumva într-o stare corespunzătoare). Universul s-ar extinde spre o dimensiune foarte mare şi în cele din urmă va suferi din nou un colaps către ceea ce arată ca o singularitate în timpul real. Astfel, într-un fel suntem toţi condamnaţi, chiar dacă ne ţinem departe de găurile negre. Numai dacă am putea reprezenta universul în funcţie de timpul imaginar nu ar fi singularităţi.

Dacă universul este într-adevăr într-o astfel de stare cuantică, nu ar exista singularităţi în istoria universului în timpul imaginar, Prin urmare, s-ar părea că lucrarea mea recentă a distrus rezultatele lucrării mele anterioare privind singularităţile. Dar, aşa cum am arătat mai sus, importanţa reală a teoremelor singularităţilor era că ele arătau că de fapt câmpul gravitaţional trebuia să devină atât de intens încât efectele gravitaţionale cuantice nu puteau fi ignorate. Aceasta, la rândul său, conduce la ideea că universul ar putea fi finit în timpul imaginar, dar fără limite sau singularităţi. Când se merge înapoi în timpul real în care trăim însă, tot mai apar singularităţi. Sărmanul astronaut care cade într-o gaură neagră tot va ajunge la un sfârşit nebulos, numai că dacă ar fi trăit în timpul imaginar, nu ar fi întâlnit singularităţi.

Aceasta poate sugera că aşa-numitul timp imaginar este în realitate timpul real şi ceea ce numim timp real este doar o plăsmuire a imaginaţiei noastre. În timpul real, universul are un început şi un sfârşit la singularităţi care formează o limită a spaţiu-timpului şi în care legile ştiinţei nu mai funcţionează. Dar în timpul imaginar nu există singularităţi sau limite. Astfel, poate că ceea ce noi numim timp imaginar este în realitate mai concret şi ceea ce numim timp real este doar o idee pe care o inventăm pentru a ne ajuta la descrierea a ceea ce vedem că este universul. Dar, conform abordării pe care am descris-o în

capitolul 1, o teorie ştiinţifică este doar un model matematic pe care îl folosim pentru a descrie observaţiile noastre; el există doar în minţile noastre. Astfel, nu are sens să ne întrebăm: Care este real, timpul „real” sau timpul „imaginar”? Este pur şi simplu vorba de care este cea mai utilă descriere.

Se poate utiliza, de asemenea, suma istoriilor, împreună cu propunerea „fără limite” pentru a afla care proprietăţi ale universului se produc împreună. De exemplu, se poate calcula probabilitatea ca universul să se extindă cu aproape aceeaşi rată în toate direcţiile simultan când densitatea universului are valoarea sa actuală. În modelele simplificate care au fost examinate până acum, această probabilitate s-a dovedit a fi mare; adică, condiţia „fără limită” propusă conduce la prezicerea că este extrem de probabil ca rata actuală de expansiune a universului să fie aproape aceeaşi în fiecare direcţie.

Aceasta este în acord cu observaţiile radiaţiei de fond de microunde, care arată că ea are aproape aceeaşi intensitate în orice direcţie. Dacă universul s-ar extinde mai rapid în unele direcţii decât în celelalte, intensitatea radiaţiei în acele direcţii s-ar reduce cu o deplasare spre roşu suplimentară.

În mod curent se elaborează noi prezicери ale condiţiei „fără limită”. O problemă deosebit de interesantă este dimensiunea abaterilor mici faţă de densitatea uniformă din universul timpuriu, care au determinat formarea mai întâi a galaxiilor, apoi a stelelor şi în final a noastră. Principiul de incertitudine implică faptul că universul timpuriu nu putea fi complet uniform deoarece trebuie să fi existat unele incertitudini sau fluctuaţii ale poziţiilor şi vitezelor particulelor. Utilizând condiţia „fără limită”, găsim că universul trebuie să fi început, de fapt, doar cu neuniformitatea minimă posibilă permisă de principiul de incertitudine. Apoi universul ar fi suferit o perioadă de expansiune rapidă, ca în modelele inflaţioniste. În această perioadă, neuniformităţile iniţiale s-ar fi amplificat până ce au fost destul de mari pentru a

explica originea structurilor pe care le vedem în jurul nostru. Într-un univers în expansiune în care densitatea materiei varia uşor de la un loc la altul, gravitaţia ar fi determinat regiunile mai dense să-şi încetinească expansiunea şi să înceapă să se contracte. Aceasta ar fi condus la formarea galaxiilor, stelelor şi, în cele din urmă, chiar a unor creaturi neînsemnate ca noi. Astfel, toate structurile complicate pe care le vedem în univers ar putea fi explicate prin condiţia „fără limită" a universului împreună cu principiul de incertitudine din mecanica cuantică.

Ideea că spaţiul şi timpul pot forma o suprafaţă închisă fără limite are, de asemenea, implicaţii profunde pentru rolul lui Dumnezeu în problemele universului. Datorită succesului teoriilor ştiinţifice în descrierea evenimentelor, majoritatea oamenilor au ajuns să creadă că Dumnezeu a permis universului să evolueze conform unui set de legi şi nu intervine în univers pentru a încălca aceste legi. Totuşi, legile nu ne spun cum trebuie să fi arătat universul la început ar fi încă la latitudinea lui Dumnezeu să întoarcă ceasul şi să aleagă modul în care să-l pornească. Atât timp cu universul a avut un început, putem presupune că a avut un creator. Dar, dacă universul este complet independent, neavând limită sau margine, el nu ar fi avut nici început nici sfârşit: el pur şi simplu ar fi fost. Şi atunci, la ce bun un creator?

9. Sensul timpului

În capitolele anterioare am văzut cum s-au schimbat de-a lungul anilor părerile noastre despre natura timpului. Până la începutul acestui secol oamenii credeau într-un timp absolut. Adică, fiecărui eveniment i se poate atribuit în mod unic un număr numit „timp" şi toate ceasurile bune vor fi de acord asupra intervalului dintre două evenimente. Totuşi, descoperirea faptului că viteza luminii este aceeaşi pentru orice observator, indiferent de modul în care se mişcă, a condus la teoria relativităţii şi în cadrul acesteia

ideea existenţei unui timp absolut a trebuit să fie abandonată. În schimb, fiecare observator ar avea propria sa măsură a timpului înregistrată de un ceas pe care îl poartă; ceasurile purtate de diferiţi observatori nu ar concorda în mod necesar. Astfel, timpul devine un concept mai personal, legat de observatorul care îl măsoară.

Când se încearcă unificarea gravitaţiei cu mecanica cuantică, trebuie să se introducă ideea timpului „imaginar”. Timpul imaginar nu se distinge de direcţiile spaţiului. Dacă cineva poate merge spre nord, poate să se întoarcă şi să meargă spre sud; în mod egal, în timpul imaginar, dacă cineva poate merge înainte, atunci poate să se întoarcă şi să meargă înapoi. Aceasta înseamnă că nu poate fi o diferenţă importantă între direcţiile înainte şi înapoi ale timpului imaginar. Pe de altă parte, când se consideră timpul „real”, există o diferenţă foarte mare între direcţiile înainte şi înapoi, aşa cum ştim cu toţii. De unde vine această diferenţă între trecut şi viitor? De ce ne amintim trecutul, dar nu viitorul?

Legile ştiinţei nu fac diferenţă între trecut şi viitor. Mai exact, aşa cum s-a explicat anterior, legile ştiinţei nu se schimbă la combinarea operaţiilor (sau simetriilor) numite C, P şi T. (C înseamnă schimbarea particulelor cu antiparticule, P înseamnă schimbarea cu imaginea în oglindă astfel că stânga şi dreapta se schimbă între ele. şi T înseamnă inversarea direcţiei de mişcare a tuturor particulelor; de fapt mişcarea înapoi.) Legile ştiinţei care guvernează comportarea materiei în toate situaţiile normale nu se schimbă la combinarea aplicării a doua din operaţiile C şi P asupra lor. Cu alte cuvinte, viaţa ar fi existat la fel pentru locuitorii unei alte planete care ar fi imaginea noastră în oglindă şi ei ar fi formaţi din antimaterie, nu din materie.

Dacă legile ştiinţei nu se schimbă prin combinarea operaţiilor C şi P şi de asemenea prin combinarea C, P şi T, ele trebuie să rămână, de asemenea, neschimbate numai la operaţia T. Totuşi, există o mare diferenţă între direcţiile înainte şi înapoi ale timpului real în viaţa obişnuită.

Imaginaţi-vă o ceaşcă de apă care cade de pe o masă şi se sparge în bucăţi pe podea. Dacă filmaţi aceasta, puteţi spune uşor dacă filmul rulează înainte sau înapoi. Dacă îl rulaţi înapoi veţi vedea bucăţile cum se adună de pe podea şi sar înapoi formând o ceaşcă pe masă. Puteţi spune că filmul rulează înapoi deoarece acest fel de comportare nu se observă niciodată în viaţa obişnuită. Dacă ar fi aşa, producătorii de porţelanuri ar da faliment.

Explicaţia care se dă de obicei pentru faptul că nu vedem ceşti sparte adunându-se de pe podea şi sărind din nou pe masă este că acest lucru este interzis de legea a doua a termodinamicii. Aceasta spune că în orice sistem închis dezordinea, sau entropia, creşte întotdeauna cu timpul. Cu alte cuvinte, este o formă a legii lui Murphy: Lucrurile tind întotdeauna să meargă rău! O ceaşcă intactă pe masă reprezintă o stare foarte ordonată, dar o ceaşcă spartă pe podea este o stare dezordonată. Se poate trece uşor de la ceaşca de pe masă din trecut la ceaşca spartă de pe podea din viitor, dar nu invers.

Creşterea dezordinii sau entropiei cu timpul reprezintă un exemplu de sens al timpului, ceva care diferenţează trecutul de viitor, dând timpului o direcţie. Există cel puţin trei sensuri diferite ale timpului. Primul este sensul termodinamic al timpului, direcţia timpului în care dezordinea sau entropia creşte. Apoi, există sensul psihologic al timpului. Aceasta este direcţia în care noi simţim trecerea timpului, direcţia în care ne reamintim trecutul, dar nu viitorul. În sfârşit, există un sens cosmologic al timpului. Acesta este direcţia timpului în care universul se extinde, nu se contractă.

În acest capitol voi arăta că pentru univers condiţia „fără limită” împreună cu principiul antropic slab pot explica de ce toate cele trei sensuri sunt îndreptate în aceeaşi direcţie şi, în plus, de ce trebuie să existe un sens al timpului bine definit. Voi arăta că sensul psihologic este determinat de sensul termodinamic şi că aceste două sensuri sunt îndreptate întotdeauna, în mod necesar, în aceeaşi direcţie. Dacă se presupune condiţia „fără limită”

pentru univers, vom vedea că trebuie să existe sensuri termodinamice şi cosmologice bine definite ale timpului, dar ele nu vor fi îndreptate în aceeaşi direcţie pentru întreaga istorie a universului. Totuşi, voi arăta că numai atunci când ele sunt îndreptate în aceeaşi direcţie sunt condiţii adecvate pentru dezvoltarea fiinţelor inteligente care pot pune întrebarea: De ce creşte dezordinea în aceeaşi direcţie a timpului cu aceea în care se extinde universul?

Voi discuta mai întâi sensul termodinamic al timpului. A doua lege a termodinamicii rezultă din faptul că există întotdeauna mai multe stări dezordonate decât cele ordonate. De exemplu, să considerăm piesele unui puzzle într-o cutie. Există un aranjament, unul singur, în care piesele formează un tablou complet. Pe de altă parte, există un număr foarte mare de aranjamente în care piesele sunt dezordonate şi nu formează tabloul.

Să presupunem că un sistem începe într-una dintr-un număr mic de stări ordonate. Pe măsură ce trece timpul, sistemul va evolua conform legilor ştiinţei şi starea sa se va schimba. La un moment ulterior, este mai probabil că sistemul va fi într-o stare dezordonată decât într-una ordonată deoarece există mai multe stări dezordonate. Astfel, dezordinea va tinde să crească cu timpul, dacă sistemul satisface o stare iniţială foarte ordonată.

Să presupunem că piesele puzzle încep într-o cutie aranjate ordonat formând un tablou. Dacă scuturaţi cutia, piesele vor avea alt aranjament. Acesta va fi probabil un aranjament dezordonat în care piesele nu formează un tablou, pur şi simplu pentru că sunt mai multe aranjamente dezordonate. Unele grupe de piese pot forma încă părţi ale tabloului, dar cu cât scuturaţi mai mult cutia, cu atât este mai probabil că aceste grupuri vor fi distruse şi piesele se vor găsi într-o stare complet amestecată în care nu mai formează niciun tablou. Astfel dezordinea pieselor va creşte probabil cu timpul dacă piesele satisfac condiţia iniţială că au început într-o stare foarte ordonată.

Să presupunem însă că Dumnezeu a hotărât că

universul trebuie să termine într-o stare foarte ordonată dar că nu are importanţă în ce stare a început. La începuturi universul ar fi probabil într-o stare dezordonată. Aceasta înseamnă că dezordinea va scădea cu timpul. Aţi vedea ceşti sparte adunându-se şi sărind înapoi pe masă. Totuşi, orice fiinţe umane care ar observa ceştile ar trăi într-un univers în care dezordinea ar scădea cu timpul. Voi arăta că astfel de fiinţe ar avea un sens psihologic al timpului care ar fi îndreptat înapoi. Adică, ele şi-ar aminti evenimente din viitor şi nu şi-ar aminti evenimente din trecut. Când s-a spart ceaşca, ei şi-ar aminti-o stând pe masă, dar când ar fi pe masă ei nu şi-ar aminti-o pe podea.

Este destul de greu să vorbim despre memoria umană deoarece nu ştim cum lucrează creierul în detaliu. ştim însă totul despre modul în care lucrează memoria computerelor. Prin urmare, voi discuta sensul psihologic al timpului pentru computere. Cred că este rezonabil să se presupună că sensul pentru computere este acelaşi ca pentru fiinţele umane. Dacă nu ar fi, s-ar putea da o lovitură la bursă având un computer care şi-ar aminti preţurile de mâine!

Memoria unui computer este un dispozitiv care conţine elemente care pot exista într-una din două stări. Un exemplu simplu este un abac. În forma sa cea mai simplă, acesta constă din mai multe sârme; pe fiecare sârmă există o bilă care poate fi pusă într-una din două poziţii. Înainte ca un element să fie înregistrat în memoria unui computer, memoria este în stare dezordonată, cu posibilităţi egale pentru cele două stări posibile. (Bilele abacului sunt împrăştiate întâmplător pe sârmele abacului.) După ce memoria interacţionează cu sistemul ce trebuie amintit, el se va găsi clar într-o stare sau alta, conform stării sistemului. (Fiecare bilă a abacului va fi ori la stânga ori la dreapta sârmei abacului.) Astfel memoria a trecut de la o stare dezordonată la una ordonată. Totuşi, pentru a se asigura că memoria este într-o stare corectă, este necesar să se utilizeze o anumită cantitate de energie (pentru a mişca bila sau pentru a alimenta computerul, de

exemplu). Această energie se disipă sub formă de căldură şi măreşte cantitatea de dezordine din univers. Se poate arăta că această creştere a dezordinii este întotdeauna mai mare decât creşterea ordinii memoriei. Astfel, căldura eliminată de ventilatoarele de răcire a calculatorului înseamnă că atunci când un computer înregistrează un element de memorie, cantitatea totală de dezordine din univers creşte. Direcţia timpului în care un computer îşi aminteşte trecutul este aceeaşi cu aceea în care creşte dezordinea.

Sensul nostru subiectiv al direcţiei timpului, sensul psihologic al timpului, este determinat deci în creierul nostru de sensul termodinamic al timpului. La fel ca un computer, noi trebuie să ne amintim lucrurile în ordinea în care creşte entropia. Aceasta face legea a doua a termodinamicii aproape neînsemnată. Dezordinea creşte cu timpul deoarece noi măsurăm timpul în direcţia în care dezordinea creşte. Nu puteţi face un pariu mai sigur ca acesta!

Dar de ce trebuie să existe sensul termodinamic al timpului? Sau, cu alte cuvinte, de ce trebuie ca universul să fie într-o stare foarte ordonată la un capăt al timpului, capătul pe care-l numim trecut? De ce nu este într-o stare de dezordine completă tot timpul? Doar aceasta ar părea mai probabilă. şi de ce direcţia timpului în care dezordinea creşte este aceeaşi cu aceea în care universul se extinde?

În teoria clasică a relativităţii generalizate nu se poate prezice modul în care universul ar fi început, deoarece niciuna dintre legile cunoscute nu ar mai funcţiona la singularitatea Big Bang-ului. Universul putea să fi început într-o stare foarte omogenă şi ordonată. Aceasta ar fi condus la sensuri termodinamic şi cosmologic bine definite ale timpului, după cum observăm. Dar s-ar fi putut la fel de bine ca el să fi început într-o stare foarte neomogenă şi dezordonată. În acest caz, universul ar fi fost deja într-o stare de dezordine completă, astfel că dezordinea nu ar putea să crească cu timpul. Ea ar rămâne constantă, caz în care nu ar fi un sens termodinamic bine

definit al timpului, sau ar descreşte, caz în care sensul termodinamic al timpului ar fi îndreptat în direcţie opusă sensului cosmologic. Niciuna din aceste posibilităţi nu corespunde cu ceea ce observăm. Totuşi, aşa cum am văzut, relativitatea generalizată clasică prezice propria sa cădere. Atunci când curbura spaţiu-timpului devine mare, efectele gravitaţionale cuantice vor deveni importante şi teoria clasică va înceta să fie o descriere bună a universului. Pentru a înţelege cum a început universul, trebuie să se utilizeze o teorie cuantică a gravitaţiei.

Aşa cum am văzut în ultimul capitol, într-o teorie cuantică a gravitaţiei pentru a specifica starea universului ar trebui să se spună cum s-ar comporta istoriile posibile ale universului la limita spaţiu-timpului în trecut. Această dificultate de a descrie ceea ce nu ştim şi nu putem şti s-ar evita numai dacă istoriile satisfac condiţia „fără limită”; ele au o întindere finită dar nu au limite, margini sau singularităţi. În acest caz, începutul timpului ar fi un punct regulat, omogen al spaţiu-timpului şi universul ar fi trebuit să-şi înceapă expansiunea într-o stare foarte omogenă şi ordonată. El nu ar fi putut fi complet uniform, deoarece aceasta ar fi încălcat principiul de incertitudine din teoria cuantică. Trebuie să fi existat fluctuaţii mici ale densităţii şi vitezelor particulelor. Totuşi, condiţia „fără limită” însemna că aceste fluctuaţii erau cât se putea de mici, conform principiului de incertitudine.

Universul trebuie să fi început cu o perioadă de expansiune exponenţială sau „inflaţionistă” în care şi-ar fi mărit dimensiunea cu un factor foarte mare. În timpul acestei expansiuni, fluctuaţiile densităţii ar fi trebuit să rămână mici la început, dar apoi ar fi trebuit să înceapă să crească. Regiunile în care densitatea era puţin mai mare decât media ar fi avut o expansiune încetinită de atracţia gravitaţională a masei suplimentare. În cele din urmă, aceste regiuni şi-ar fi oprit expansiunea şi ar fi suferit un colaps formând galaxii, stele şi fiinţe ca noi. Universul ar fi trebuit să înceapă într-o stare omogenă, ordonată şi ar fi devenit neomogen şi dezordonat pe măsură ce timpul

trecea. Aceasta ar explica existenţa sensului termodinamic al timpului.

Dar ce s-ar întâmpla dacă şi când universul şi-ar opri expansiunea şi ar începe să se contracte? S-ar inversa sensul termodinamic şi dezordinea ar începe să scadă cu timpul? Aceasta ar conduce la toate felurile de posibilităţi ale literaturii ştiinţifico-fantastice pentru persoanele care ar supravieţui forţei expansiunii şi contracţiei. Ar vedea ele ceştile sparte adunându-se de pe podea şi sărind înapoi pe masă? Ar putea să-şi amintească preţurile de mâine şi să facă avere la bursă? Pare a fi puţin cam academic să te îngrijorezi de ceea ce s-ar întâmpla când universul ar suferi din nou un colaps, deoarece el nu va începe să se contracte cel puţin zece miliarde de ani de acum încolo. Dar există o cale mai rapidă de a afla ce se va întâmpla: să sari într-o gaură neagră. Colapsul unei stele formând o gaură neagră este la fel ca ultimele etape ale colapsului întregului univers. Dacă dezordinea descreştea în faza de contracţie a universului; s-ar putea aştepta, de asemenea, să descrească într-o gaură neagră. Astfel, poate un astronaut care cade într-o gaură neagră ar putea să câştige bani la ruletă amintindu-şi unde s-a oprit bila înainte de a miza. (Din nefericire însă el nu ar avea mult timp să joace înainte de a fi transformat în spaghetti. Nici nu ar putea să ne comunice inversarea sensului termodinamic; sau chiar să-şi încaseze câştigul, deoarece el ar fi prins dincolo de orizontul evenimentului găurii negre.)

La început, am crezut că dezordinea ar descreşte când universul ar suferi din nou un colaps: Aceasta deoarece credeam că universul trebuia să se întoarcă la o stare omogenă şi ordonată atunci când devenea din nou mic. Aceasta însemna că faza de contracţie ar fi ca inversarea timpului fazei de expansiune. În faza de contracţie, oamenii şi-ar trăi vieţile înapoi: ei ar muri înainte de a fi născuţi şi ar deveni mai tineri pe măsură ce universul se contractă.

Această idee este atractivă, deoarece ar însemna o

simetrie între fazele de expansiune şi de contracţie. Totuşi, ea nu poate fi adoptată singură, independent de celelalte idei despre univers. Problema e: Este explicată de condiţia „fără limită”, sau nu este corespunzătoare cu această condiţie? Aşa cum am spus, am crezut la început că într-adevăr condiţia „fără limită” înseamnă că dezordinea ar scădea în faza de contracţie. Am fost indus în eroare în parte de analogia cu suprafaţa pământului. Dacă se consideră că începutul universului corespunde cu Polul Nord, atunci sfârşitul universului trebuie să fie asemănător cu începutul, exact cum Polul Sud este similar cu Polul Nord. Totuşi Polul Nord şi Polul Sud corespund începutului şi sfârşitului universului în timpul imaginar. Începutul şi sfârşitul în timp real pot diferi foarte mult. Am mai fost indus în eroare de analiza pe care am făcut-o pe un model simplu al universului în care faza de colaps era ca inversarea timpului fazei de expansiune. Totuşi, un coleg de-al meu, Don Page, de la Penn State University, a arătat că condiţia „fără limită” nu cere în mod necesar ca faza de contracţie să fie inversarea în timp a fazei de expansiune. În plus, unul dintre studenţii mei, Raymond Aflamme, a descoperit că, într-un model puţin mai complicat, colapsul universului era foarte diferit de expansiune. Mi-am dat seama că făcusem o greşeală: condiţia „fără limită” înseamnă că dezordinea ar continua, de fapt, să crească în timpul contracţiei. Sensurile termodinamic şi psihologic al timpului nu s-ar inversa când universul ar începe să se contracte din nou sau în interiorul găurilor negre.

Ce-aţi face când v-aţi da seama că aţi făcut o greşeală ca aceasta? Unele persoane nu admit niciodată că au greşit şi continuă să găsească argumente noi, şi adesea necorespunzătoare pentru a-şi susţine cauza aşa cum a făcut Eddington când s-a opus teoriei găurilor negre. Alţii pretind că nu au susţinut niciodată părerea greşită sau, dacă au făcut-o, a fost numai pentru a arăta cât este de necorespunzătoare. Mie mi se pare mult mai bine şi mai clar dacă admiteţi într-o publicaţie că aţi greşit. Un exemplu bun în acest sens a fost Einstein, care a numit

constanta cosmologică, pe care a introdus-o când încerca să elaboreze un model static al universului, cea mai mare greşeală a vieţii sale.

Întorcându-ne la sensul timpului, rămâne întrebarea: De ce observăm că sensurile termodinamic şi cosmologic sunt îndreptate în aceeaşi direcţie? Sau, cu alte cuvinte, de ce dezordinea creşte în aceeaşi direcţie a timpului cu aceea în care se extinde universul? Dacă se crede că universul se va extinde şi apoi se va contracta din nou, aşa cum pare să implice propunerea „fără limită”, aceasta devine o problemă; de ce trebuie să fim în faza de expansiune şi nu în faza de contracţie?

Se poate răspunde la aceasta pe baza principiului antropic slab. Condiţiile în faza de contracţie nu ar fi adecvate pentru existenţa fiinţelor inteligente care ar putea pune întrebarea: De ce dezordinea creşte în aceeaşi direcţie a timpului în care se extinde universul? Inflaţia din etapele timpurii ale universului, pe care o prezice propunerea „fără limite”, înseamnă că universul trebuie să se extindă cu o rată foarte apropiată de cea critică la care el tocmai evită să sufere din nou un colaps, şi astfel nu va suferi un colaps încă foarte mult timp. Până atunci toate stelele vor fi ars şi protonii şi neutronii din ele se vor fi dezintegrat probabil în particule uşoare şi radiaţii. Universul ar fi într-o stare de dezordine completă. Nu ar mai exista un sens termodinamic puternic al timpului. Dezordinea nu ar putea să crească mult deoarece universul ar fi deja într-o stare de dezordine aproape completă. Totuşi, pentru ca viaţa inteligentă să funcţioneze este necesar un sens termodinamic puternic. Pentru a supravieţui, fiinţele umane trebuie să consume hrană, care este o formă ordonată de energie, şi o transformă în căldură, care este o formă dezordonată de energie. Astfel, viaţa inteligentă nu ar putea exista în faza de contracţie a universului. Aceasta explică de ce observăm că sensurile termodinamice şi cosmologice ale timpului sunt îndreptate în aceeaşi direcţie. Nu aceasta face ca expansiunea universului să determine creşterea dezordinii. Mai

degrabă, condiţia „fără limită” determină creşterea dezordinii şi condiţiile adecvate pentru viaţa inteligentă numai în faza de expansiune.

Pentru a rezuma, legile ştiinţei nu fac distincţie între direcţiile înainte şi înapoi ale timpului. Totuşi, există cel puţin trei sensuri ale timpului care diferenţiază trecutul de viitor. Ele sunt sensul termodinamic, direcţia timpului în care dezordinea creşte; sensul psihologic, direcţia timpului în care ne amintim trecutul şi nu viitorul; şi sensul cosmologic, direcţia timpului în care universul se extinde, nu se contractă. Am arătat că sensul psihologic este esenţial acelaşi cu sensul termodinamic, astfel că cele două sunt îndreptate întotdeauna în aceeaşi direcţie. Propunerea „fără limite” pentru univers prezice existenţa unui sens termodinamic al timpului bine definit, deoarece universul trebuie să înceapă într-o stare omogenă şi ordonată. Iar motivul pentru care noi observăm că sensul termodinamic concordă cu sensul cosmologic este că fiinţele inteligente pot exista numai în faza de expansiune. Faza de contracţie va fi necorespunzătoare deoarece nu are un sens termodinamic puternic al timpului.

Progresul rasei umane în înţelegerea universului a stabilit un colţ mic de ordine într-un univers din ce în ce mai dezordonat. Dacă vă amintiţi fiecare cuvânt din această carte, memoria dumneavoastră a înregistrat cam două milioane de elemente de informaţii; ordinea din creierul dumneavoastră a crescut cu circa două milioane de unităţi. Totuşi, în timp ce aţi citit cartea, aţi transformat cel puţin o mie de calorii de energie ordonată, sub formă de hrană, în energie dezordonată, sub formă de căldură pe care aţi cedat-o aerului din jur prin conversaţie şi transpiraţie. Aceasta va mări dezordinea universului cu circa douăzeci de milioane de milioane de milioane de ori mai mult decât creşterea ordinii din creierul dumneavoastră şi aceasta dacă vă amintiţi totul din această carte. În capitolul următor voi încerca să măresc şi mai mult ordinea acestei zone explicând modul în care se încearcă combinarea teoriilor parţiale pe care le-am

descris, astfel încât să formeze o teorie unificată care ar acoperi totul în univers.

10. Unificarea fizicii

Aşa cum am explicat în capitolul 1, ar fi foarte greu să se construiască o teorie complet unificată pentru tot ce există în univers. În schimb, am progresat elaborând teorii parţiale care descriu un domeniu limitat de fenomene şi neglijează alte efecte sau le aproximează prin anumite numere. (De exemplu, chimia ne permite să calculăm interacţiile atomilor, fără a cunoaşte structura internă a nucleului atomului.) În cele din urmă însă, se speră găsirea unei teorii unificate, consistente, complete care ar include ca aproximaţii toate aceste teorii parţiale şi care nu are nevoie să fie ajustată pentru a se potrivi cu faptele, prin alegerea unor valori arbitrare în cadrul teoriei. Căutarea unei teorii de acest fel se numeşte „unificarea fizicii". Einstein şi-a petrecut majoritatea ultimilor ani căutând fără succes o teorie unificată, dar nu era încă timpul: existau teorii parţiale pentru gravitaţie şi forţa electromagnetică, dar se ştia foarte puţin despre forţele nucleare. În plus, Einstein refuza să creadă în realitatea mecanicii cuantice, în ciuda rolului important pe care l-a jucat în dezvoltarea sa. Şi totuşi, se pare că principiul de incertitudine este o caracteristică fundamentală a universului în care trăim. Prin urmare, o teorie unificată reuşită trebuie să conţină acest principiu.

Aşa cum voi arăta, perspectivele găsirii unei astfel de teorii par a fi mult mai bune acum deoarece ştim mult mai multe despre univers. Dar trebuie să nu fim prea încrezători am mai avut speranţe false! La începutul acestui secol, de exemplu, s-a crezut că totul putea fi explicat în funcţie de proprietăţile materiei continue, cum sunt elasticitatea şi conducţia căldurii. Descoperirea structurii atomice şi a principiului de incertitudine a pus categoric capăt acestei idei. Apoi, în 1928, fizicianul laureat al premiului Nobel, Max Born a spus unui grup de

vizitatori ai Universităţii Göttingen: „Fizica, aşa cum o cunoaştem astăzi, va fi depăşită peste şase luni”. Încrederea sa se baza pe descoperirea recentă de către Dirac a ecuaţiei care guverna electronul. Se credea că o ecuaţie similară ar guverna protonul, care era cealaltă particulă cunoscută în acel moment, ceea ce ar fi fost sfârşitul fizicii teoretice. Totuşi, descoperirea neutronilor şi a forţelor nucleare a contrazis şi această părere. Spunând aceasta, eu tot cred că există motive să sperăm că ne aflăm aproape de capătul căutării legilor finale ale naturii.

În capitolele anterioare am descris relativitatea generalizată, teoria parţială a gravitaţiei şi teoriile parţiale care guvernează interacţiile tari, interacţiile slabe şi forţele electromagnetice. Ultimele trei se pot combina în aşa-numitele mari teorii unificate, sau MTU, care nu sunt foarte satisfăcătoare deoarece nu includ gravitaţia şi deoarece ele conţin mai multe mărimi cum sunt masele relative ale diferitelor particule, care nu pot fi prezise de teorie, ci a trebuit să fie alese astfel încât să se potrivească observaţiilor. Principala dificultate în găsirea unei teorii care uneşte gravitaţia cu celelalte forţe este că relativitatea generalizată este o teorie „clasică”; adică ea nu conţine principiul de incertitudine din mecanica cuantică. Pe de altă parte, celelalte teorii parţiale depind în mod esenţial de mecanica cuantică. Prin urmare, un prim pas necesar este de a combina relativitatea generalizată cu principiul de incertitudine. Aşa cum am văzut, acesta poate avea consecinţe remarcabile cum sunt faptul că găurile negre nu sunt negre şi universul nu are singularităţi, ci este complet independent şi fără limite. Problema este, aşa cum am explicat în capitolul 7, că principiul de incertitudine înseamnă că şi spaţiul „gol” este plin cu perechi de particule şi antiparticule virtuale. Aceste perechi ar avea o cantitate infinită de energie şi deci, conform faimoasei ecuaţii a lui Einstein, $E = mc^2$, ele ar avea o masă infinită. Atracţia lor gravitaţională ar curba universul către o dimensiune infinit mică.

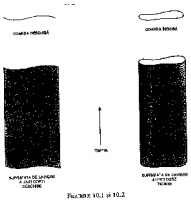
Infinităţi similare, aparent absurde, se produc în

celelalte teorii parţiale, dar în toate aceste cazuri infinităţile pot fi anulate de un proces numit renormalizare. Aceasta implică anularea infinităţilor prin introducerea altor infinităţi. Deşi această tehnică este cam dubioasă din punct de vedere matematic, ea pare să fie bună în practică şi a fost utilizată în aceste teorii pentru a face preziceri care concordă cu observaţiile cu un grad de precizie extraordinar. Renormalizarea, însă, are un neajuns serios din punctul de vedere al încercării de a găsi o teorie completă, deoarece ea înseamnă că valorile reale ale maselor şi intensităţilor forţelor nu pot fi prezise din teorie, ci trebuie să fie alese astfel încât să se potrivească observaţiilor.

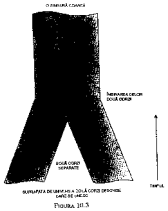
În încercarea de a îngloba principiul de incertitudine în relativitatea generalizată, există numai două mărimi care pot fi ajustate: intensitatea gravitaţiei şi valoarea constantei cosmologice. Prin urmare, există o teorie care pare să prezică faptul că anumite mărimi cum este curbura spaţiu-timpului sunt într-adevăr infinite şi totuşi aceste mărimi se pot observa şi măsura ca fiind perfect finite! Această problemă care apare la combinarea relativităţii generalizate şi principiului de incertitudine a fost bănuită de câtva timp, dar a fost în final confirmată de calcule detaliate în 1972. Patru ani mai târziu a fost sugerată o soluţie posibilă, numită „supergravitaţie”. Ideea era de a combina particula de spin 2 numită graviton, care poartă forţa gravitaţională, cu anumite particule noi de spin 3/2, 1, 1! 2 şi 0. Într-un fel, toate aceste particule ar putea fi considerate ca aspecte diferite ale aceleiaşi „superparticule”, unificând astfel particulele de materie de spin 1/2 şi 3 l2 cu particulele purtătoare de forţă de spin 0, 1 şi 2. Perechile particulă/antiparticulă virtuale de spin 1/2 şi 3/2 ar avea energie negativă şi ar tinde, deci, să anuleze energia pozitivă a perechilor virtuale de spin 2, 1 şi 0. Aceasta ar determina anularea multor infinităţi posibile, dar se suspecta că ar mai rămâne unele infinităţi. Totuşi, calculele necesare pentru a afla dacă există sau nu infinităţi rămase erau atât de lungi şi grele încât nimeni nu

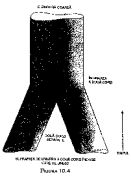
era pregătit să le efectueze. Chiar cu un computer, s-a calculat că ar fi necesari cel puţin patru ani şi ar exista mari şanse de a face cel puţin o greşeală, dacă nu mai multe. Astfel, răspunsul corect s-ar cunoaşte numai dacă altcineva ar repeta calculul şi ar obţine acelaşi răspuns, iar acest lucru nu pare foarte probabil!

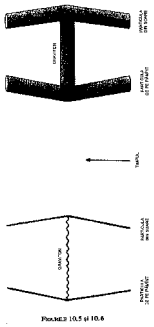
În ciuda acestor probleme şi a faptului că particulele din teoria supergravitaţiei nu par să se potrivească cu particulele observate, majoritatea oamenilor de ştiinţă credeau că supergravitaţia era probabil răspunsul corect la problema unificării fizicii. Părea modul cel mai bun de unificare a gravitaţiei cu celelalte forţe. Totuşi, în 1984, a avut loc o schimbare remarcabilă de opinie în favoarea a ceea ce se numeşte teoriile corzilor (Strâng Theories). În aceste teorii obiectele de bază nu sunt particulele, care ocupă un singur punct în spaţiu, ci corpuri care au lungime dar nu au altă dimensiune, ca o bucată de coardă infinit de subţire. Aceste corzi pot avea capete (aşa-numitele corzi deschise) sau pot fi unite cu ele însele în bucle închise (corzi închise) (fig. 10.1 şi fig. 10.2). O particulă ocupă un punct în spaţiu în fiecare moment. Astfel, istoria sa în spaţiu-timp poate fi prezentată printr-o linie („linia de univers"). Pe de altă parte, o coardă ocupă o linie în spaţiu în fiecare moment. Astfel, istoria sa în spaţiu-timp este o suprafaţă bi-dimensională numită suprafaţă de univers". (Orice punct de pe această suprafaţă de univers poate fi descris de două numere: unul care specifică timpul şi celălalt poziţia punctului de pe coardă.) Suprafaţa de univers a unei corzi deschise este o bandă; marginile sale reprezintă traiectoriile în spaţiu-timp ale capetelor corzii (fig. 10.1). Suprafaţa de univers a unei corzi închise este un cilindru sau un tub (fig. 10.2); o secţiune în tub este un cerc, care reprezintă poziţia corzii într-un anumit moment.



Două bucăţi de coardă se pot uniformând o singură coardă; în cazul corzilor deschise ele se unesc pur şi simplu la capete (fig. 10.3), în timp ce în cazul corzilor închise ele sunt ca două picioare care se unesc pe o pereche de pantaloni (fig. 10.4). În mod asemănător, o singură bucată de coardă se poate împărţi în două corzi. În teoria corzilor, ceea ce înainte erau considerate particule acum sunt imaginate ca unde care se propagă de-a lungul corzii, ca undele de pe coarda vibrantă a unui zmeu. Emisia sau absorbţia unei particule de către alta corespunde divizării sau unirii corzilor. De exemplu, forţa gravitaţională a soarelui asupra pământului a fost imaginată în teoria particulelor ca fiind cauzată de emiterea unui graviton de o particulă din soare şi absorbţia sa de o particulă de pe pământ (fig. 10.5). În teoria corzilor acest proces corespunde unui tub sau unei conducte de forma H (fig. 10.6) (într-un fel teoria corzilor este ca o lucrare de instalaţii). Cele două laturi verticale ale H-ului corespund particulelor din soare şi din pământ şi bara orizontală corespunde gravitonului care se deplasează între ele.







Teoria corzilor are o istorie curioasă. Ea a fost inventată iniţial la sfârşitul anilor 1960 în încercarea de a găsi o teorie care să descrie interacţia tare. Ideea era că particule ca protonul şi neutronul ar putea fi considerate ca undele dintr-o coardă. Interacţiile tari dintre particule ar corespunde bucăţilor de coardă care trec prin celelalte bucăţi de coardă, ca în pânza unui păianjen. Pentru ca această teorie să dea valoarea observată a interacţiei tari între particule, corzile trebuie să fie ca benzile de cauciuc cu un efort de întindere de circa zece tone.

În 1974 Joël Scherk de la Paris şi John Schwarz de la Institutul de Tehnologie din California au publicat o lucrare în care au arătat că teoria corzilor ar putea descrie forţa gravitaţională, dar numai dacă tensiunea în coardă ar fi mult mai mare, de circa o mie de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de milioane de tone (1 urmat de treizeci şi nouă de zerouri). Prezicerile teoriei corzilor ar fi exact aceleaşi cu cele ale relativităţii generalizate la scări de lungime normale, dar ele ar diferi la distanţe foarte mici, mai mici decât o mie de milioane de milioane de milioane de milioane de milionimi dintr-un centimetru (un centimetru împărţit la 1 urmat de treizeci

şi trei de zerouri). Lucrării lor nu i s-a acordat însă prea mare atenţie deoarece chiar atunci majoritatea oamenilor de ştiinţă abandonaseră teoria iniţială a corzilor pentru interacţia tare, în favoarea teoriei bazate pe quarci şi gluoni, care părea să se potrivească mult mai bine cu observaţiile. Scherk a murit în împrejurări tragice (el suferea de diabet şi a intrat în comă într-un moment când nu era nimeni în preajmă să-i facă o injecţie cu insulină). Astfel Schwarz a rămas singurul susţinător ale teoriei corzilor, dar acum cu o valoare mult mai mare propusă pentru tensiunea în coardă.

În 1984, interesul faţă de corzi a înviat brusc, aparent din două motive. Unul era că oamenii nu progresaseră prea mult pentru a arăta că supergravitaţia era finită sau că ea ar putea explica tipurile de particule pe care le observăm. Celălalt era publicarea lucrării lui John Schwarz şi Mike Green de la Queen Mary Collège, Londra, care arăta că teoria corzilor putea explica existenţa particulelor care aveau rotaţie intrinsecă spre stânga, la fel cu unele particule pe care le observăm. Indiferent care au fost motivele, curând un mare număr de persoane au început să lucreze la teoria corzilor şi a fost elaborată o nouă versiune, aşa-numita coardă heterotică, ce părea că ar putea să explice tipurile de particule pe care le observăm.

Şi teoria corzilor conduce la infinităţi, dar se crede că ele se vor anula toate în versiuni cum este coarda heterotică (deşi acest lucru nu este încă sigur). Teoriile corzilor însă au o problemă mai mare: ele par să corespundă numai dacă spaţiu-timpul are zece sau douăzeci şi şase de dimensiuni, în loc de cele patru obişnuite! Desigur, dimensiunile suplimentare ale spaţiu-timpului reprezintă ceva obişnuit în literatura ştiinţifico-fantastică; într-adevăr, ele sunt aproape o necesitate, deoarece altfel faptul că relativitatea implică imposibilitatea de a călători mai repede decât lumina înseamnă că deplasarea între stele şi galaxii ar dura prea mult. Ideea literaturii ştiinţifico-fantastice este că ar putea

fi posibil să o iei pe scurtătură printr-o dimensiune mai mare. Acest lucru se poate ilustra astfel: Imaginaţi-vă că spaţiul în care trăim are numai două dimensiuni şi este curbat ca suprafaţa unui inel sau tor (fig. 10.7). Dacă aţi fi pe o parte interioară a inelului şi aţi dori să ajungeţi într-un punct de pe cealaltă parte ar trebui să mergeţi de jur-împrejur pe partea interioară a inelului. Totuşi, dacă v-aţi putea deplasa în a treia dimensiune, aţi putea s-o luaţi de-a dreptul.

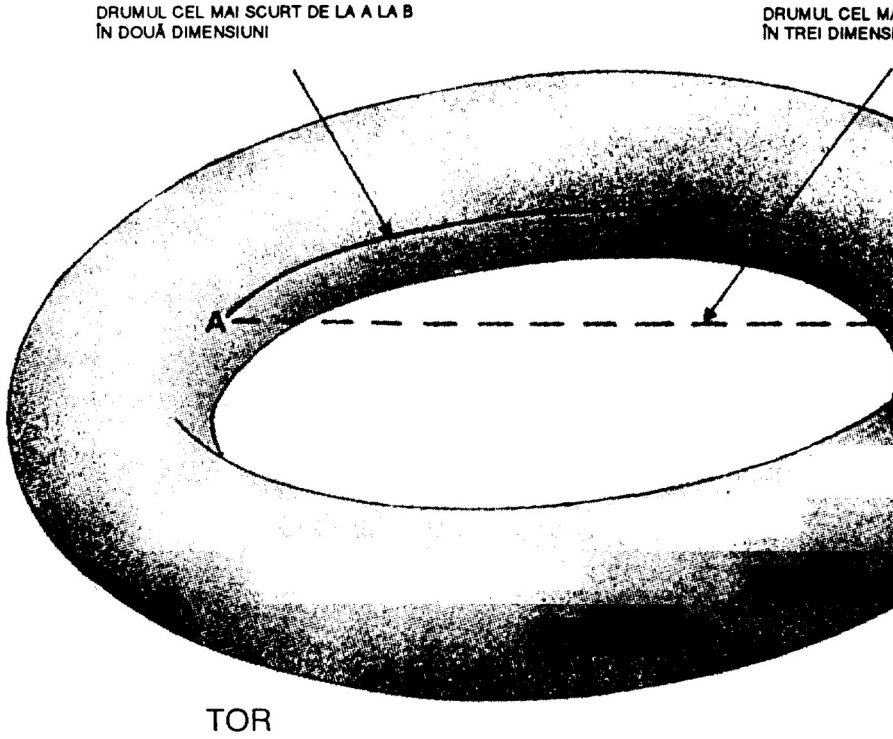


FIGURA 10.7

De ce nu observăm toate aceste dimensiuni suplimentare, dacă ele chiar există? De ce vedem doar trei dimensiuni spaţiale şi una temporală? Există ipoteza că celelalte dimensiuni sunt curbate într-un spaţiu cu dimensiunea foarte mică, ceva cam ca un milion de milioane de milioane de milioane de milionimi dintr-un centimetru. Aceasta este atât de mică încât pur şi simplu nu o observăm; vedem numai o dimensiune temporală şi trei spaţiale în care spaţiu-timpul este destul de neted. Este ca suprafaţa unei portocale: dacă vă uitaţi de aproape, este toată curbată şi încreţită, dar dacă o priviţi de la distanţă, nu vedeţi umflăturile şi pare a fi netedă. La fel este şi cu spaţiu-timpul: la scară foarte mică el are zece dimensiuni şi este puternic curbat, dar la scară mai mare nu vedeţi curbura dimensiunilor suplimentare. Dacă această imagine este corectă, ea înseamnă veşti proaste

pentru călătorii în spaţiu: dimensiunile suplimentare ar fi mult prea mici pentru a permite trecerea navei spaţiale. Totuşi, ea ridică o altă problemă majoră. De ce ar trebui să fie curbate într-o sferă mică doar unele dimensiuni şi nu toate? Probabil, în universul foarte timpuriu toate dimensiunile ar fi fost foarte curbate. Dar ce a determinat ca o dimensiune temporală şi trei spaţiale să se îndrepte, în timp ce celelalte au rămas foarte curbate?

Un răspuns posibil este principiul antropic. Două dimensiuni spaţiale nu par a fi suficiente pentru a permite dezvoltarea unor fiinţe complicate ca noi. De exemplu, animalele bi-dimensionale care ar trăi pe un pământ unidimensional ar trebui să se caţere unul peste celălalt pentru a trece unul de altui. Dacă o creatură bi-dimensională mănâncă ceva ceea ce nu poate digera complet, ar trebui să elimine resturile pe aceeaşi cale pe care le-a înghiţit pentru că dacă ar exista o trecere prin corp, ea ar împărţi creatura în două jumătăţi separate; fiinţa noastră bi-dimensională s-ar desface în bucăţi (fig. 10.8). În mod asemănător, este dificil de văzut cum ar arăta circulaţia sângelui într-o creatură bi-dimensională.

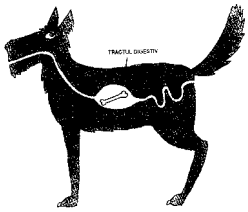


FIGURA 10.8

Ar fi şi alte probleme pentru mai mult de trei dimensiuni spaţiale. Forţa gravitaţională dintre două corpuri ar descreşte mai rapid cu distanţa decât o face în trei dimensiuni. (În trei dimensiuni, forţa gravitaţională scade la 1/4 dacă se dublează distanţa. În patru dimensiuni ea ar scade la 1/8, în cinci dimensiuni la 1/16 ş.a.m.d.) Semnificaţia acestui fapt este că orbitele planetelor (cum este pământul) în jurul soarelui ar fi instabile: cea mai

mică perturbaţie de la o orbită circulară (cum este aceea cauzată de atracţia gravitaţională a altor planete) ar avea ca rezultat deplasarea în spirală a pământului depărtându-se sau apropiindu-se de soare. Noi am îngheţa sau ne-am arde. De fapt, aceeaşi comportare a gravitaţiei cu distanţa într-un spaţiu cu mai mult de trei dimensiuni înseamnă că soarele nu ar putea să existe într-o stare stabilă în care presiunea echilibrează gravitaţia. El s-ar desface în bucăţi sau ar suferi un colaps formând o gaură neagră. În oricare din aceste cazuri, el nu ar mai fi util ca sursă de căldură şi lumină pentru viaţa de pe Pământ. La o scară mai mică, forţele electrice care determină electronii să se deplaseze pe orbite în jurul nucleului unui atom s-ar comporta în acelaşi fel cu forţele gravitaţionale. Astfel, electronii ar ieşi din atom sau s-ar deplasa în spirală spre nucleu. În orice caz, nu ar exista atomi aşa cum şi ştim.

Este clar că viaţa, cel puţin aşa cum o ştim; poate exista numai în regiuni ale spaţiu-timpului în care o dimensiune temporală şi trei dimensiuni spaţiale nu sunt foarte mult curbate. Aceasta ar însemna că principiul antropic slab se poate utiliza cu condiţia să se arate că teoria corzilor permite cel puţin existenţa unor astfel de regiuni ale universului se pare că într-adevăr teoria corzilor face acest lucru. Pot exista şi alte regiuni ale universului sau ale altor universuri (orice ar însemna acestea) în care toate dimensiunile sunt foarte curbate sau în care sunt aproape întinse mai mult de patru dimensiuni, dar acolo nu ar exista fiinţe inteligente care să observe numerele diferite ale dimensiunilor efective.

În afară de problema numărului dimensiunilor pe care le are spaţiu-timpul, teoria corzilor mai are şi alte câteva probleme care trebuie rezolvate înainte de a fi aclamată ca teoria unificată finală a fizicii. Nu ştim încă dacă toate infiniturile se anulează reciproc sau modul exact în care undele din corzi se leagă de tipurile de particule pe care le observăm. Oricum, este probabil că răspunsurile la aceste probleme se vor găsi în următorii ani, şi că spre sfârşitul secolului vom şti dacă teoria

corzilor este într-adevăr teoria unificată mult căutată a fizicii.

Dar poate exista cu adevărat o teorie unificată de acest fel? Sau poate alergăm după un miraj? Par să existe trei posibilităţi:

1) Există într-adevăr o teorie unificată completă, pe care o vom descoperi într-o zi dacă suntem destul de deştepţi.

2) Nu există o teorie finală a universului, ci doar o succesiune infinită de teorii care descriu universul din ce în ce mai exact.

3) Nu există o teorie a universului; evenimentele nu pot fi prezise decât într-o anumită măsură, ele se produc în mod întâmplător şi arbitrar.

Unii ar susţine a treia posibilitate bazându-se pe faptul că dacă ar exista un set complet de legi aceasta ar încălca libertatea lui Dumnezeu de a-şi schimba părerea şi a interveni în univers. Este ca un vechi paradox: Poate Dumnezeu să facă o piatră atât de grea încât el să nu o poată ridica? Dar ideea că Dumnezeu ar putea dori să-şi schimbe părerea este un exemplu de erezie, menţionat de Sf. Augustin, de a imagina pe Dumnezeu ca pe o fiinţă care există în timp: timpul este numai o proprietate a universului pe care Dumnezeu l-a creat. Probabil, el ştia ce intenţiona atunci când l-a făcut!

Odată cu apariţia mecanicii cuantice, am ajuns să recunoaştem că evenimentele nu pot fi prezise exact, ci există întotdeauna un anumit grad de incertitudine. Dacă se doreşte, se poate atribui această caracteristică de întâmplare intervenţiei lui Dumnezeu, dar ar fi un fel foarte ciudat de intervenţie: nu există vreo dovadă că ea are un scop. Într-adevăr, dacă ar exista, prin definiţie ea nu ar fi întâmplătoare. În timpurile moderne, am eliminat efectiv cea de a treia posibilitate de mai sus redefinind scopul ştiinţei: scopul nostru este de a formula un set de legi care să ne permită să prezicem evenimentele numai până la o limită determinată de principiul de incertitudine.

A doua posibilitate, că există o succesiune infinită de

teorii din ce în ce mai rafinate, este în concordanţă cu toată experienţa noastră de până acum. În multe ocazii am mărit sensibilitatea măsurărilor noastre sau am făcut o nouă clasă de observaţii, numai pentru a descoperi noi fenomene care nu erau prezise de teoria existentă şi pentru a le explica a trebuit să dezvoltăm o teorie şi mai avansată. Prin urmare, nu ar fi foarte surprinzător dacă generaţia actuală de mari teorii unificate ar greşi pretinzând că nu se va întâmpla nimic nou esenţial între energia de unificare electroslabă de circa 100 Gev şi energia marii unificări de circa o mie de milioane de milioane de Gev. Ne putem aştepta într-adevăr să găsim câteva straturi noi de structură, mai fundamentale decât quarcii şi electronii pe care îi considerăm acum particule „elementare”.

Totuşi, se pare că gravitaţia poate da o limită acestui şir de „cutii în cutii”. Dacă există o particulă cu energia peste ceea ce se numeşte energia Planck, zece milioane de milioane de milioane de Gev (1 urmat de nouăsprezece zerouri), masa sa ar fi atât de concentrată încât s-ar desprinde singură de restul universului şi ar forma o gaură neagră mică. Astfel, se pare că şirul de teorii din ce în ce mai rafinate trebuie să aibă o limită pe măsură ce trecem la energii din ce în ce mai înalte; astfel că ar trebui să existe o teorie finală a universului. Desigur, energia Planck reprezintă un drum lung de la energiile în jur de o sută de Gev, valoarea cea mai mare pe care o putem produce în laborator în prezent. Nu vom putea sări această distanţă cu acceleratoarele de particule din viitorul previzibil! Totuşi, etapele foarte timpurii ale universului reprezintă un loc unde trebuie să se fi produs aceste energii. Cred că există o şansă bună ca studiul universului timpuriu şi cerinţele consistenţei matematice să ne conducă la o teorie unificată completă în timpul vieţii unora dintre noi care trăim astăzi, presupunând întotdeauna că nu ne distrugem mai înainte.

Ce ar însemna dacă am descoperi într-adevăr teoria finală a universului? Aşa cum am explicat în capitolul 1 nu

am fi niciodată destul de siguri că am găsit cu adevărat teoria corectă, deoarece teoriile nu pot fi dovedite. Dar dacă teoria este consistentă matematic şi face întotdeauna preziceri care concordă cu observaţiile, putem avea încredere că ea este cea corectă. Ea ar duce la sfârşit un capitol lung şi glorios din istoria luptei intelectuale a umanităţii de a înţelege universul. Dar ea ar revoluţiona, de asemenea, înţelegerea de către persoanele obişnuite a legilor care guvernează universul. În timpul lui Newton era posibil ca o persoană educată să stăpânească întreaga cunoaştere umană, cel puţin în linii mari. Dar de atunci, viteza dezvoltării ştiinţei a făcut acest lucru imposibil. Deoarece teoriile se schimbă întotdeauna pentru a explica noile observaţii, ele nu sunt niciodată corect sistematizate sau simplificate astfel încât să poată fi înţelese de oamenii obişnuiţi. Trebuie să fiţi specialist, şi chiar şi atunci puteţi spera să aveţi numai o stăpânire corectă a unei părţi mici din teoriile ştiinţifice. În plus, rata progresului este atât de rapidă încât ceea ce se învaţă la şcoală sau la universitate este întotdeauna puţin depăşit. Doar puţini oameni pot ţine pasul cu avansul rapid al frontierelor cunoaşterii şi ei trebuie să îi dedice tot timpul şi să se specializeze într-o problemă restrânsă. Restul populaţiei are prea puţină idee despre progresele făcute sau despre interesul pe care ele îl generează. Acum şaptezeci de ani, dacă îl credem pe Eddington, numai două persoane înţelegeau teoria generală a relativităţii. Astăzi, zeci de mii de absolvenţi de universitate o înţeleg şi multe milioane de oameni cunosc cel puţin ideea. Dacă s-ar descoperi o teorie unificată completă, ar fi doar o chestiune de timp înainte de a fi sistematizată şi simplificată în acelaşi fel şi predată în şcoli, cel puţin în linii mari. Atunci am putea avea o oarecare înţelegere a legilor care guvernează universul şi sunt răspunzătoare de existenţa noastră.

Chiar dacă descoperim o teorie unificată completă nu înseamnă că am putea să prezicem evenimentele în general, din două motive. Primul este limitarea pe care o impune principiul de incertitudine din mecanica cuantică

asupra puterilor noastre de prezicere. Nu putem face nimic pentru a ocoli aceasta. În practică însă această primă limitare este mai puţin restrictivă decât a doua. Ea provine din faptul că nu putem rezolva exact ecuaţiile teoriei, cu excepţia unor situaţii foarte simple. (Nu putem rezolva exact nici măcar problema mişcării a trei corpuri în teoria gravitaţiei a lui Newton şi dificultatea creşte cu numărul de corpuri şi complexitatea teoriei.) Cunoaştem deja legile care guvernează comportarea materiei în toate condiţiile cu excepţia celor extreme. În special, cunoaştem legile de bază care stau la baza chimiei şi biologiei. şi totuşi nu am redus aceste subiecte la stadiul de probleme rezolvate; până acum, nu am avut mare succes în prezicerea comportamentului uman din ecuaţiile matematice! Astfel, chiar dacă găsim un set complet de legi fundamentale, ar mai trebui ani de activitate intelectuală susţinută pentru a elabora metode mai bune de aproximare, încât să putem face preziceri utile ale rezultatelor probabile ale unor situaţii complicate şi realiste. O teorie unificată completă, consistentă, reprezintă numai primul pas: scopul nostru este înţelegerea completă a evenimentelor din jurul nostru şi a propriei noastre existenţe.

11. Concluzii

Ne găsim într-o lume uimitoare. Dorim să găsim un sens pentru ceea ce vedem în jurul nostru şi întrebăm: Care este natura universului? Care este locul nostru în univers şi de unde a apărut el? De ce este aşa cum este?

Pentru a încerca să răspundem la aceste întrebări adoptăm unele „imagini ale universului”. Teoria supercorzilor este la fel ca un turn infinit de broaşte ţestoase care susţin pământul plat. Ambele sunt teorii ale universului deşi prima este mult mai matematică şi mai precisă decât ultima. Pentru niciuna nu există dovezi experimentale: nimeni nu a văzut o broască ţestoasă gigantică ce duce pământul în spate, dar nici nu a văzut o

supercoardă. Totuşi, teoria broaştelor ţestoase nu este o teorie ştiinţifică bună deoarece prezice că oamenii pot cădea de pe marginea lumii. Acest lucru nu este în concordanţă cu experimentul, în afară de cazul persoanelor care se presupune că au dispărut în Triunghiul Bermudelor!

Primele încercări teoretice de a descrie şi explica universul conţineau ideea că evenimentele şi fenomenele naturale erau controlate de spirite cu emoţii umane, care acţionau într-o manieră foarte umană şi imprevizibilă. Aceste spirite locuiau în lucrurile naturale, cum sunt râurile şi munţii, inclusiv pe corpuri cereşti, ca soarele şi luna. Ele trebuiau îmbunate şi trebuia cerută bunăvoinţa lor pentru a se asigura fertilitatea solului şi trecerea anotimpurilor. Treptat însă trebuie să se fi observat că existau anumite regularităţi: soarele răsărea întotdeauna la est şi apunea la vest, indiferent dacă se făceau sacrificii zeului soare. În plus, soarele, luna şi planetele urmau pe cer traiectorii precise, care puteau fi prezise cu o precizie considerabilă. Soarele şi luna puteau încă să fie zei, dar erau zei care ascultau de legi stricte, aparent fără excepţii, dacă nu se ţine cont de poveşti de felul celei în care Iosua a oprit soarele.

La început, aceste regularităţi şi legi erau evidente numai în astronomie şi în alte câteva ştiinţe. Totuşi, pe măsură ce civilizaţia a evoluat şi în special în ultimii 300 de ani, au fost descoperite din ce în ce mai multe regularităţi şi legi. Succesul acestor legi l-a condus pe Laplace la începutul secolului al nouăsprezecelea să postuleze determinismul ştiinţific, adică el a sugerat că ar exista un set de legi care ar determina precis evoluţia universului, dacă se cunoaşte configuraţia sa la un moment dat.

Determinismul lui Laplace era incomplet în două moduri. El nu spunea cum trebuie alese legile şi nu preciza configuraţia iniţială a universului. Acestea erau lăsate lui Dumnezeu. Dumnezeu ar alege modul în care a început universul şi legile pe care le respectă acesta, dar el nu ar

interveni în univers o dată ce a fost pornit. De fapt, Dumnezeu era limitat la zonele pe care ştiinţa secolului nouăsprezece nu le înţelegea.

Ştim acum că speranţele lui Laplace privind determinismul nu pot fi realizate, cel puţin aşa cum le-a crezut el. Principiul de incertitudine din mecanica cuantică implică faptul că anumite perechi de mărimi, cum sunt poziţia şi viteza unei particule, nu pot fi ambele prezise precis.

Mecanica cuantică tratează această situaţie printr-o clasă de teorii cuantice în care particulele nu au poziţii şi viteze bine definite, ci sunt reprezentate de o undă.

Aceste teorii cuantice sunt deterministe în sensul că dau legi pentru evoluţia undei în timp. Astfel, dacă se cunoaşte unda la un moment dat, ea poate fi calculată în orice alt moment. Elementul imprevizibil, întâmplător apare numai atunci când încercăm să interpretăm unda în funcţie de poziţiile şi vitezele particulelor. Dar poate că este greşeala noastră: poate nu există poziţii şi viteze ale particulelor, ci numai unde. Iar noi doar încercăm să potrivim undele la ideile noastre preconcepute despre poziţii şi viteze. Nepotrivirea care rezultă este cauza aparentei lipse de predictibilitate.

De fapt, am redefinit sarcina ştiinţei ca fiind descoperirea legilor care ne vor permite să prezicem evenimente până la limita stabilită de principiul de incertitudine. Rămâne însă întrebarea: Cum sau de ce au fost alese legile şi starea iniţială a universului?

În cartea de faţă am pus un accent deosebit pe legile care guvernează gravitaţia, deoarece gravitaţia determină structura la scară mare a universului, chiar dacă este cea mai slabă dintre cele patru categorii de forţe. Legile gravitaţiei erau incompatibile cu părerea menţinută până destul de recent că universul nu se schimbă cu timpul: faptul că gravitaţia este întotdeauna o forţă de atracţie înseamnă că universul trebuie să se extindă sau să se contracte. Conform teoriei generale a relativităţii, trebuie să fi existat în trecut o stare de densitate infinită, Big

Bang-ul, care ar fi fost un început efectiv al timpului. În mod asemănător, dacă întregul univers suferea din nou un colaps, trebuie să existe o altă stare de densitate infinită în viitor, Big Crunch, care ar reprezenta un sfârşit al timpului. Chiar dacă întregul univers nu suferă un nou colaps, ar exista singularităţi în regiuni localizate care ar suferi colapsul formând găurile negre. Aceste singularităţi ar reprezenta un sfârşit al timpului pentru orice cade în gaura neagră. La Big Bang şi la alte singularităţi, toate legile ar fi încetat să funcţioneze, astfel că Dumnezeu ar fi avut deplina libertate de a alege ce s-a întâmplat şi modul în care începea universul.

Atunci când combinăm mecanica cuantică cu teoria relativităţii, se pare că apare o nouă posibilitate care nu exista înainte: ca spaţiul şi timpul să formeze împreună un spaţiu cvadri-dimensional, finit, fără singularităţi sau limite, ca suprafaţa pământului, dar cu mai multe dimensiuni. Se pare că această idee ar putea explica multe dintre caracteristicile observate ale universului, cum sunt omogenitatea sa la scară mare şi abaterile de la omogenitate la scară mică, ca galaxiile, stelele şi chiar fiinţele umane. Ea ar putea chiar să explice sensul timpului pe care le observăm. Dar, dacă universul este complet independent, fără singularităţi sau limite şi descris complet de o teorie unificată, aceasta are implicaţii profunde pentru rolul de Creator al lui Dumnezeu.

Einstein a pus odată întrebarea: „Cât de mult a avut Dumnezeu de ales când a construit universul?” Dacă ipoteza „fără limite” este corectă, el nu a avut deloc libertatea de a alege condiţiile iniţiale. Totuşi, el ar fi avut încă libertatea de a alege legile de care ascultă universul. Aceasta însă poate să nu fi fost chiar o alegere; poate exista doar una, sau un număr mic de teorii unificate complete, cum este teoria corzilor heterotice, care sunt independente şi permit existenţa unor structuri complicate cum sunt fiinţele umane care pot cerceta legile universului şi care pot pune întrebări privind natura lui Dumnezeu.

Chiar dacă există o singură teorie unificată posibilă,

ea este doar un set de reguli şi ecuaţii. Ce este ceea ce animă ecuaţiile şi le face să descrie universul? Abordarea obişnuită a ştiinţei construcţiei unui model matematic nu poate răspunde la întrebări de genul: de ce trebuie să existe un univers pe care să-l descrie modelul?

De ce există universul? Teoria unificată este atât de restrictivă încât determină propria lui existenţă? Sau el a avut nevoie de un creator şi dacă da, a avut acesta un efect asupra universului? Şi cine l-a creat pe el?

Până acum majoritatea oamenilor de ştiinţă au fost prea ocupaţi cu elaborarea noilor teorii care descriu ce este universul, pentru a pune întrebarea de ce. Pe de altă parte, oamenii a căror treabă este să întrebe de ce, filosofii, nu au putut ţine pasul cu progresul teoriilor ştiinţifice. În secolul al optsprezecelea, filosofii considerau întreaga cunoaştere umană, inclusiv ştiinţa, ca fiind domeniul lor şi discutau întrebări ca: A avut universul un început? Totuşi, în secolele al nouăsprezecelea şi al douăzecilea, ştiinţa a devenit prea tehnică şi matematică pentru filosofi, sau pentru oricine altcineva cu excepţia câtorva specialişti. Filosofii au redus atât de mult obiectul cercetărilor lor, încât Wittgenstein, cel mai faimos filosof al acestui secol, a spus: „Singura sarcină rămasă filosofiei este analiza limbajului”. Ce decădere de la marea tradiţie a filosofiei de la Aristotel la Kant!

Totuşi, dacă descoperim într-adevăr o teorie completă, ea trebuie să poată fi înţeleasă în mare, cu timpul, în principiu de oricine, nu numai de câţiva oameni de ştiinţă. Atunci noi toţi: filosofi, oameni de ştiinţă şi oameni obişnuiţi, ar trebui să putem lua parte la discutarea problemei: de ce existăm noi şi universul. Dacă găsim răspuns la această întrebare, el ar reprezenta triumful final al raţiunii umane pentru că atunci am cunoaşte gândirea lui Dumnezeu.

Albert Einstein

Legătura lui Einstein cu politica bombei nucleare

este bine cunoscută; el a semnat faimoasa scrisoare către preşedintele Franklin Roosevelt care a convins Statele Unite să ia ideea în serios şi l-a angajat în eforturile de după război de a împiedica războiul nuclear. Dar acestea nu au fost doar acţiuni izolate ale unui savant atras în lumea politicii. Viaţa lui Einstein a fost, de fapt, pentru a folosi propriile sale cuvinte, „împărţită între politică şi ecuaţii".

Prima activitate politică a lui Einstein a apărut în timpul primului război mondial, când era profesor la Berlin. Bolnav de marea pierdere de vieţi omeneşti pe care o vedea, el s-a implicat în demonstraţiile împotriva războiului. Faptul că susţinea nesupunerea civilă şi încuraja public persoanele care refuzau încorporarea l-a făcut să fie puţin iubit de colegii săi. Apoi, după război, şi-a îndreptat eforturile spre reconciliere şi îmbunătăţirea relaţiilor internaţionale. Nici aceasta nu l-a făcut popular şi cum activitatea sa politică a făcut dificil pentru el să viziteze Statele Unite, chiar pentru a ţine conferinţe.

A doua mare cauză a lui Einstein a fost sionismul. Deşi era evreu prin naştere, Einstein a respins ideea publică de Dumnezeu. Totuşi, conştiinţa existenţei antisemitismului atât înainte cât şi în timpul primului război mondial l-a condus treptat la identificarea cu comunitatea evreiască şi mai târziu a devenit un suporter deschis al sionismului. Din nou lipsa de popularitate nu l-a oprit să spună ce gândea. Teoriile sale au fost atacate; s-a înfiinţat chiar o organizaţie anti-Einstein. Un om a fost condamnat pentru că îi incita pe alţii să-l omoare pe Einstein (şi a fost amendat cu 6 dolari). Dar Einstein era calm; când a fost publicată o carte intitulată 100 de autori contra lui Einstein el a replicat „Dacă nu aş fi avut dreptate, unul era de ajuns!"

În 1933, Hitler a venit la putere. Einstein era în America şi a declarat că nu se va întoarce în Germania. Atunci, în timp ce miliţia nazistă îi percheziţiona casa şi îi confisca contul din bancă, un ziar din Berlin publica titlul: „Veşti bune de la Einstein Nu se mai întoarce". În faţa

ameninţării naziste, Einstein a renunţat la pacifism, şi, în cele din urmă, temându-se că oamenii de ştiinţă germani vor construi o bombă nucleară, a propus ca Statele Unite să-şi construiască una. Dar chiar înainte ca prima bombă atomică să fie detonată, el a atras public atenţia asupra pericolului războiului nuclear şi a propus controlul internaţional al armamentului nuclear.

Eforturile pentru pace făcute toată viaţa de Einstein au avut puţine rezultate şi i-au câştigat puţini prieteni. Totuşi, sprijinul său pentru cauza sionistă a fost recunoscut cum se cuvine în 1952, când i s-a oferit preşedinţia Israelului. El a refuzat, spunând că se consideră prea naiv în politică. Dar poate că motivul său real a fost diferit; îl citãm din nou: „Ecuaţiile sunt mult mai importante pentru mine, deoarece politica este pentru prezent, dar o ecuaţie este ceva pentru eternitate”.

Galileo Galilei

Galilei, poate mai mult decât oricare altă persoană, a fost răspunzător de naşterea ştiinţei moderne. Renumitul său conflict cu Biserica catolică a fost important pentru filosofia sa, deoarece Galilei a fost unul dintre primii care au susţinut că omul putea spera să înţeleagă cum funcţionează lumea şi, în plus, că putem face acest lucru observând lumea reală.

Galilei a crezut teoria lui Copernic (că planetele se mişcau pe orbite în jurul soarelui) mai devreme, dar el a început s-o sprijine public numai atunci când a găsit dovada necesară pentru a susţine ideea. El a scris despre teoria lui Copernic în italiană (nu ca de obicei în latină), şi curând părerile sale au fost larg sprijinite în afara universităţilor. Aceasta a deranjat pe profesorii aristotelieni, care s-au unit împotriva lui căutând să convingă Biserica catolică să interzică teoriile lui Copernic.

Galilei, îngrijorat de aceasta, s-a dus la Roma pentru a vorbi cu autorităţile ecleziastice. El a argumentat că

Biblia nu intenţiona să ne spună ceva despre teoriile ştiinţifice şi că se obişnuia să se presupună că acolo unde Biblia intra în conflict cu bunul simţ, ea era alegorică. Dar Biserica se temea de un scandal care putea submina lupta sa contra protestantismului, şi a luat măsuri represive. Ea a declarat în 1616 că teoria lui Copernic era „falsă şi eronată" şi l-a condamnat pe Galilei ca niciodată să nu mai „apere sau să susţină" doctrina. Galilei s-a supus.

În 1623, un prieten de-o viaţă al lui Galilei a devenit papă. Imediat Galilei a încercat să obţină revocarea decretului din 1616. Nu a reuşit, chiar a obţinut aprobare să scrie o carte în care să discute ambele teorii, a lui Aristotel şi a lui Copernic, cu două condiţii: nu trebuia să fie părtinitor şi să ajungă la concluzia că omul nu poate determina cum funcţionează lumea deoarece Dumnezeu ar putea produce aceleaşi efecte în moduri neimaginate de om, care nu poate introduce restricţii asupra omnipotenţei lui Dumnezeu.

Cartea *Dialog privind cele două sisteme principale ale lumii* a fost terminată şi publicată în 1632, cu aprobarea totală a cenzorilor şi a fost considerată imediat în toată Europa ca o capodoperă literară şi filosofică. Curând, Papa, realizând că oamenii căutau cartea ca un argument convingător în favoarea teoriei lui Copernic, a regretat că a permis publicarea sa. Papa a argumentat că, deşi cartea avea aprobarea oficială a cenzorilor, Galilei a încălcat decretul din 1616. El l-a adus pe Galilei înaintea inchiziţiei, care l-a condamnat la arest la domiciliu pe viaţă şi l-a condamnat să renunţe public la teoria lui Copernic. Pentru a doua oară, Galilei s-a supus.

Galilei a rămas un catolic credincios, dar convingerea sa în independenţa ştiinţei nu s-a schimbat. Cu patru ani înainte de moartea sa în 1642, când era încă în stare de arest la domiciliu, manuscrisul celei de a doua cărţi mari a sa a fost trecut peste graniţă de către un editor din Olanda. Această lucrare, numită *Două ştiinţe noi* a reprezentat geneza fizicii moderne, chiar mai mult decât sprijinul său pentru teoria lui Copernic.

Isaac Newton

Isaac Newton nu era un om plăcut. Relaţiile sale cu ceilalţi academicieni erau notorii, majoritatea ultimilor ani fiind implicat în dispute încinse. În urma publicării cărţii *Principia Mathematica* – în mod sigur cartea cea mai influentă care a fost scrisă în fizică – Newton s-a remarcat rapid. El a fost numit preşedinte al Societăţii Regale şi a devenit primul om de ştiinţă care a fost înnobilat.

Curând Newton a intrat în conflict cu astronomul regal John Flamsteed, care mai înainte îi furnizase date pentru *Principia* dar care acum refuza să-i dea lui Newton informaţiile pe care acesta le dorea. Newton nu accepta să fie refuzat; el s-a numit singur în corpul de conducere al Observatorului Regal şi a încercat apoi să forţeze publicarea imediată a datelor. În cele din urmă el a aranjat ca lucrarea lui Flamsteed să fie luată şi pregătită pentru publicare de duşmanul de moarte al lui Flamsteed Edmond Halley. Dar Flamsteed l-a dat în judecată şi în scurt timp a obţinut o hotărâre care împiedica distribuirea lucrării furate. Newton s-a înfuriat şi s-a răzbunat eliminând sistematic toate referirile la Flamsteed din ediţiile ulterioare ale *Principia*.

O dispută mult mai serioasă a avut-o cu filosoful german Gottfried Leibniz. Atât Leibniz cât şi Newton au elaborat independent o ramură a matematicii, numită calcul infinitezimal, care stă la baza celei mai mari părţi a fizicii moderne. Deşi acum ştim că Newton a descoperit calculul infinitezimal ani de zile înaintea lui Leibniz, el l-a publicat mult mai târziu. A început o mare discuţie despre cine a fost primul, fiecare având propriii susţinători. Este remarcabil însă că majoritatea articolelor care au apărut în apărarea lui Newton erau iniţial scrise de mâna sa şi publicate doar în numele prietenilor! Pe măsură ce discuţia a crescut, Leibniz a făcut greşeala de a apela la Societatea Regală pentru rezolvarea disputei. Newton, ca preşedinte, a numit un comitet „imparţial” pentru investigaţii care era

format întâmplător numai din prieteni ai lui Newton! Dar nu a fost numai atât: Newton a scris apoi singur raportul comitetului şi a determinat Societatea Regală să-l publice, acuzându-l oficial pe Leibniz de plagiat. Tot nesatisfăcut, el a scris o recenzie anonimă a raportului în jurnalul Societăţii Regale. După moartea lui Leibniz se spune că Newton a declarat că a avut o mare satisfacţie că „Leibniz şi-a zdrobit inima".

În timpul acestor două dispute, Newton părăsise deja Cambridge şi academia. El a dus o politică anticatolică activă la Cambridge, şi apoi în Parlament, şi a fost răsplătit în cele din urmă cu postul avantajos de director al Monetăriei Regale. Aici şi-a folosit talentele de a ataca violent într-un mod mai acceptabil din punct de vedere social, conducând cu succes o campanie împotriva falsurilor, chiar trimiţând câţiva oameni la spânzurătoare.

Glosar

accelerator de particule: O maşină care, utilizând electromagneţi, poate accelera particule încărcate aflate în mişcare, dându-le mai multă energie.

acceleraţie: Rata cu care se schimbă viteza unui obiect. antiparticulă: Fiecare tip de particulă de materie are o antiparticulă corespunzătoare. Atunci când o particulă se ciocneşte cu antiparticula sa, ele se anihilează rămânând numai energie.

atom: Unitatea de bază a materiei obişnuite, formată dintr-un nucleu foarte mic (care conţine protoni şi neutroni) înconjurată de electroni care se deplasează pe orbite în jurul său.

Big Bang: Singularitatea de la începutul universului.

Big Crunch: Singularitatea de la sfârşitul universului.

con de lumină: O suprafaţă în spaţiu-timp care cuprinde direcţiile posibile ale razelor de lumină care trec printr-un eveniment dat.

condiţia „fără limită": Ideea că universul este finit dar nu are limită (în timpul imaginar).

conservarea energiei: Legea ştiinţei care afirmă că energia (sau masa sa echivalentă) nu poate fi creată sau distrusă.

constanta cosmologică: Un aparat matematic utilizat de Einstein pentru a da spaţiu-timpului o tendinţă intrinsecă de expansiune.

coordonate: Numere care specifică poziţia unui punct în spaţiu şi timp.

cosmologie: Studiul universului ca un întreg.

cuantă: Unitate indivizibilă în care undele pot fi emise sau absorbite.

câmp: Ceva care există peste tot în spaţiu şi timp, în opoziţie cu o particulă care există numai într-un punct la un moment dat.

câmp magnetic: Câmpul răspunzător pentru forţele magnetice încorporat acum, împreună cu câmpul electric, în câmpul electromagnetic.

deplasarea spre roşu: Modificarea spre roşu datorită efectului Doppler, a luminii provenite de la o stea care se depărtează de noi.

dimensiune spaţială: Oricare dintre cele trei dimensiuni ale spaţiu-timpului care se referă la spaţiu adică, oricare în afară de dimensiunea timpului.

dualism undă-particulă: Concept în mecanica cuantică în care nu se face distincţie între unde şi particule; particulele se pot comporta uneori ca unde şi undele ca particule.

electron: O particulă cu o sarcină electrică negativă care se deplasează pe orbită în jurul nucleului unui atom.

energia de unificare electroslabă: Energia (în jur de 100 Gev) peste care diferenţa dintre forţa electromagnetică şi interacţia slabă dispare.

energia marii unificări: Energia peste care, se crede, forţa electromagnetică, interacţia slabă şi interacţia tare nu pot fi diferenţiate una de alta.

eveniment: Un punct în spaţiu-timp, specificat de timpul şi locul său.

fază: Poziţia din ciclul unei unde la un moment

specificat; arată dacă unda este la maxim, la minim sau la un punct intermediar.

forţa electromagnetică: Forţa care apare între particule cu sarcină electrică, a doua ca putere din cele patru forţe fundamentale.

foton: O cuantă de lumină.

frecvenţă: Pentru o undă, numărul de cicluri complete pe secundă.

fuziunea nucleară: Procesul în care două nuclee se ciocnesc şi se unesc formând un singur nucleu mai greu.

gaură neagră: O regiune a spaţiu-timpului de unde nimic, nici chiar lumina nu poate ieşi, deoarece gravitaţia este prea puternică.

gaură neagră primordială: O gaură neagră creată în universul foarte timpuriu.

geodezie: Drumul cel mai scurt (sau cel mai lung) între două puncte.

greutate: Forţa exercitată asupra unui corp de câmpul gravitaţional. Ea este proporţională cu masa sa, dar nu este aceeaşi cu aceasta.

Interacţie slabă: A doua forţă, în ordine crescătoare a tăriei, dintre cele patru forţe fundamentale, care are o rază de acţiune foarte scurtă. Ea afectează toate particulele de materie, dar nu afectează particulele purtătoare de forţă.

Interacţie tare: Cea mai puternică forţă dintre cele patru forţe fundamentale, care are raza de acţiune cea mai scurtă dintre toate. Ea menţine quarcii împreună în protoni şi neutroni şi menţine protonii şi neutronii împreună formând atomi.

limita Chandrasekhar: Masa maximă posibi1 ă a unei stele reci stabile, peste care aceasta trebuie să sufere un colaps formând o gaură neagră.

lungime de undă: Pentru o undă, distanţa dintre două minime adiacente sau două maxime adiacente.

marea teorie unificată (MTU): O teorie care unifică forţa electromagnetică, interacţia slabă şi interacţia tare. masă: Cantitatea de materie a unui corp; inerţia sa sau rezistenţa împotriva accelerării.

mecanica cuantică: Teoria dezvoltată pe baza principiului cuantic al lui Planck şi principiului de incertitudine al lui Heissuberg. (Capitolul 4.)

neutrin: O particulă elementară de materie, extrem de uşoară (posibil fără masă), care este afectată numai de interacţia slabă sau de gravitaţie.

neutron: O particulă neîncărcată, foarte asemănătoare protonului, care reprezintă aproape jumătate din particulele din nucleul celor mai mulţi atomi.

nucleu: Partea centrală a unui atom, care constă numai din protoni şi neutroni, menţinuţi împreună de interacţia tare.

orizontul evenimentului: Limita unei găuri negre.

particulă elementară: O particulă care, se crede, nu mai poate fi subdivizată.

particulă virtuală: în mecanica cuantică, o particulă care nu poate fi niciodată detectată direct, dar a cărei existenţă are efecte măsurabile.

pitică albă: O stea rece stabilă, susţinută de repulsia dintre electroni datorată principiului de excluziune.

pozitron: Antiparticula (încărcată pozitiv) a electronului. principiul antropic: Vedem universul aşa cum este deoarece, dacă ar fi diferit, noi nu am exista să-l observăm.

principiul cuantic al lui Planck: Ideea că lumina (sau orice alte unde clasice) poate fi emisă sau absorbită numai în cuante discrete; a căror energie este proporţională cu frecvenţa lor.

principiul de excluziune: Două particule identice de spin 1, 2 nu pot avea ambele (în limitele stabilite de principiul de incertitudine) aceeaşi poziţie şi aceeaşi viteză.

principiul de incertitudine: Nu se poate cunoaşte niciodată exact atât poziţia cât şi viteza unei particule; cu cât se cunoaşte una dintre ele mai precis, cu atât mai puţin precis se poate cunoaşte cealaltă.

proporţional: „X este proporţional cu Y” înseamnă că atunci când Y se înmulţeşte cu un număr, atunci X se

măreşte de acelaşi număr de ori. „X este invers proporţional cu Y” înseamnă că dacă Y se înmulţeşte cu un număr, X se micşorează de acelaşi număr de ori.

protoni: Particule încărcate pozitiv care formează aproximativ jumătate din particulele din nucleul celor mai mulţi atomi.

quarc: O particulă elementară (încărcată) care simte interacţia tare. Protonii şi neutronii sunt fiecare formaţi din trei quarci.

radar: Un sistem care utilizează impulsuri de unde radio pentru a detecta poziţia obiectelor măsurând timpul necesar unui impuls să ajungă la obiect şi să fie reflectat înapoi.

radiaţia de fond de microunde: Radiaţia provenită de la strălucirea universului timpuriu fierbinte, acum deplasată mult spre roşu, încât nu mai apare ca lumină, ci sub formă de microunde (unde radio cu o lungime de undă de câţiva centimetri).

radioactivitate: Dezintegrarea spontană a unui tip de nucleu atomic în altul.

raze gamma: Unde electromagnetice cu lungime de undă foarte scurtă, produse în dezintegrarea radioactivă sau prin ciocnirea particulelor elementare.

relativitatea generalizată: Teoria lui Einstein bazată pe ideea că legile ştiinţei trebuie să fie aceleaşi pentru toţi observatorii, indiferent cum se deplasează ei. Ea explică forţa de gravitaţie în funcţie de curbura spaţiu-timpului cvadridimensional.

relativitatea specială: Teoria lui Einstein bazată pe ideea că legile ştiinţei trebuie să fie aceleaşi pentru toţi observatorii care se mişcă liber, indiferent de viteza lor.

sarcină electrică: O proprietate a particulei prin care ea poate să respingă (sau să atragă) alte particule care au sarcină de acelaşi semn (sau de semn opus).

secundă-lumină (an-lumină): Distanţa parcursă de lumină într-o secundă (an).

singularitate: Un punct în spaţiu-timp la care curbura spaţiu-timpului devine infinită.

singularitate nudă: O singularitate a spaţiu-timpului care nu este înconjurată de o gaură neagră.

spaţiu-timp: Spaţiu-cvadri-dimensional ale căror puncte sunt evenimente.

spectru: Descompunerea, să spunem, a unei unde electromagnetice în componentele sale de frecvenţă.

spin: O proprietate internă a particulelor elementare, legată de dar nu identică cu conceptul obişnuit de rotaţie în jurul unei axe.

stare staţionară: O stare care nu se schimbă cu timpul: o sferă care se roteşte cu viteză constantă este staţionară deoarece ea arată identic în orice moment, chiar dacă nu este statică.

stea neutronică: O stea rece, susţinută de respingerea între neutroni datorată principiului de excluziune.

teorema singularităţilor: O teoremă care arată că o singularitate trebuie să existe în anumite condiţii în special, că universul trebuie să înceapă cu o singularitate.

timp imaginar: Timpul măsurat utilizând numere imaginare.

zero absolut: Temperatura cea mai joasă posibilă, la care o substanţă nu conţine energie termică.